



Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 4 (52)

Received:
2023-08-24

Accepted:
2023-12-01

Pages: 67-87

Seismic Vulnerability of Groundwater Resources Based On Failure of Fuel Pipeline Network Using DRASTIC Method and Artificial Neural Network (Case Study: Tehran Plain)

Mahdi Haghighi¹, Ali Delnavaz^{2*}, Poorya Rashvand³, Mohammad Delnavaz⁴

- 1) Ph.D. Candidate in Construction Engineering and Management 'Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
2) Assistant professor 'Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
3) Assistant professor, Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
4) Associate professor 'Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Kharazmi University, Tehran, Iran.
*Corresponding author email: a.delnavaz@qiau.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: Groundwater is one of the main sources of sustainable development in human societies, and due to the supply of water needed by the drinking, agriculture, and industry sectors, their pollution will have destructive effects. In addition, the fuel transmission network is of great importance due to the storage and transportation of petroleum products. The importance of this system increases in various aspects during events such as earthquakes. Pollution of underground water sources due to leakage from the fuel transmission system is one of the secondary effects of the earthquake and leaves an adverse effect on the environment and human health. This research is focused on evaluating the vulnerability of groundwater due to the failure of the urban fuel transmission network against the occurrence of an earthquake, which was conducted in the form of case studies on the fuel transmission network of Tehran city and the Tehran-Karaj plain aquifer.

Method: In this research, a unified model for seismic damage analysis and risk assessment under conditions of uncertainty in the fuel transmission network of Tehran city has been defined and implemented. In this model, the consequences of damage to the fuel transmission network under three earthquake scenarios (magnitude 5, 6, 7 on the Richter scale) have been evaluated on the pollution of underground water in Tehran. In addition, strategic strategies have been presented in order to reduce the effects of groundwater pollution caused by earthquakes. The proposed model uses a multi-layer perception artificial neural network (ANN). Also, the DRASTIC model has been used to evaluate groundwater pollution based on fuel leakage from the damaged fuel transmission network. In these studies, strategic planning has been done based on the use of robust decision-making techniques and the degree of robustness in order to reduce the probable effects of groundwater pollution by using the theory of minimum-maximum regret.

Results The results of this research showed that the developed artificial neural network model has a high ability to assess damage(failure-leakage) in the pipeline of the fuel transmission network so that the root-mean-square error (RMSE) and the correlation coefficient R are equal to 0.029 and 0.98 respectively. Based on the results, the amount of damage to the pipeline in the first scenario (Mw=5) is equal to 15 leaks and 2 failures, in the second scenario (Mw=6), it is equal to 25 leaks and 7 failures and in the third scenario (Mw=7) the number of leaks was 27 and 9 failures. According to the results obtained from aquifer pollution under three earthquake scenarios, it is clear that in the scenario of an earthquake with Mw=5, 30% of the aquifer has medium pollution potential and 55% of the potential of low pollution, in the scenario of an earthquake with Mw=6, 45% The aquifer has medium pollution potential and 18% has low pollution potential, and in the earthquake scenario with Mw=7, 55% of the aquifer has medium pollution potential and 22% has low pollution potential. In line with the strategic planning of aquifer pollution reduction, different strategies were evaluated against different scenarios with the minimum-maximum regret criterion. Finally, three strategies were presented to reduce the pollution of underground water resources. According to the results, the use of the strategy (insulation of the environment around the pipeline) led to a 70% reduction in groundwater pollution, and the use of the strategy (implementation of an intelligent seismic system to cut off the fluid flow in the event of an earthquake), which was known as a robust strategy, led to aquifer pollution has been reduced by 75%.

Conclusion: Based on obtained results from the performance evaluation of the model developed in this research, it was found that the presented model had an acceptable performance in predicting the seismic vulnerability of the fuel transmission pipeline and assessing the pollution of the aquifer. This model has the ability to be implemented in different urban areas and to evaluate the performance of the fuel transmission system under different earthquake scenarios, as well as to evaluate groundwater pollution. Also, based on the results of the strategic management of groundwater pollution control, implementing an intelligent seismic system to cut off the fluid flow in the event of an earthquake can be used as a comprehensive solution to reduce environmental damage to groundwater resources specifically in the seismic regions.

Keywords: Groundwater Pollution, Strategic Planning, ANN, DRASTIC





آسیب پذیری لرزه‌ای منابع آب زیرزمینی بر اساس شکست خط لوله انتقال سوخت با استفاده از روش DRASIC و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: دشت تهران)

مهدی حقیقی^۱، علی دلنواز^{۲*}، پوریا رشوند^۳ و محمد دلنواز^۴

(۱) دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

(۲) استادیار گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

(۳) استادیار گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

(۴) دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: a.delnavaz@qiau.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: آب‌های زیرزمینی یکی از منابع اصلی توسعه پایدار در جوامع بشری بوده که با توجه به تامین آب مورد نیاز بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت، آلودگی آن‌ها اثرات مخربی به همراه خواهد داشت. علاوه بر این، شبکه انتقال سوخت به دلیل ذخیره‌سازی و انتقال فرآورده‌های نفتی از اهمیت بالایی برخوردار است. اهمیت این سیستم در هنگام وقوع حوادثی مانند زلزله از جنبه‌های مختلف افزایش می‌یابد. آلودگی منابع آب زیرزمینی بر اثر نشت از سیستم انتقال سوخت، یکی از اثرات ثانویه زلزله بوده و تاثیر نامطلوبی بر محیط‌زیست و سلامت انسان بر جای می‌گذارد. این تحقیق بر ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در اثر خرابی شبکه انتقال سوخت شهری در برابر وقوع زلزله متمرکز بوده که در قالب مطالعات موردی بر شبکه انتقال سوخت شهر تهران و آبخوان دشت تهران-کرج انجام شده است.

روش پژوهش: در این تحقیق مدلی تلفیقی برای تحلیل آسیب لرزه‌ای و ارزیابی ریسک در شرایط عدم قطعیت در شبکه انتقال سوخت شهر تهران تعریف و اجرا شده است. در این مدل پیامدهای آسیب شبکه انتقال سوخت تحت سه سناریو زلزله (با بزرگای ۵، ۶، ۷ ریشتر) بر آلودگی آب‌های زیرزمینی شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفته است. علاوه بر این استراتژی‌های راهبردی به منظور کاهش اثرات احتمالی آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از زلزله ارائه شده است. مدل پیشنهادی جهت ارزیابی آسیب در خط لوله شبکه انتقال سوخت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (ANN) توسعه یافته است. همچنین برای ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی بر اساس نشت سوخت از شبکه انتقال سوخت آسیب دیده، از مدل DRASIC استفاده شده است. در این مطالعات برنامه‌ریزی استراتژیک براساس استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری استوار و درجه استواری به منظور کاهش اثرات احتمالی آلودگی آب‌های زیرزمینی با بهره‌گیری از تئوری حداقل-حداکثر تاسف، انجام شده است.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی توسعه داده شده توانایی بالایی در ارزیابی آسیب (شکست و نشتی) در خط لوله شبکه انتقال سوخت داشته، به گونه‌ای که ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب همبستگی R به ترتیب برابر با ۰،۰۲۹ و ۰،۹۸ بود. براساس نتایج، میزان خسارت وارده به خط لوله در سناریوی اول (زمین‌لرزه با بزرگای ۵ ریشتر) برابر با ۱۵ نشتی و ۲ خرابی، در سناریوی دوم (زمین‌لرزه با بزرگای ۶ ریشتر) برابر با ۲۵ نشتی و ۷ خرابی و در سناریوی سوم (زمین‌لرزه با بزرگای ۷ ریشتر) تعداد نشتی‌ها ۲۷ و ۹ شکست بوده است. با توجه به نتایج حاصل از آلودگی آبخوان تحت سه سناریوی زلزله، مشخص می‌شود که در سناریوی زمین لرزه با بزرگای ۵ ریشتر، ۳۰ درصد آبخوان دارای پتانسیل آلودگی متوسط و ۵۵ درصد پتانسیل آلودگی کم، در سناریوی زمین لرزه با بزرگای ۶ ریشتر، ۴۵ درصد آبخوان دارای پتانسیل آلودگی متوسط و ۱۸ درصد پتانسیل آلودگی کم و در سناریوی زمین‌لرزه با بزرگای ۷ ریشتر، ۵۵ درصد آبخوان دارای پتانسیل آلودگی متوسط و ۲۲ درصد پتانسیل آلودگی پایینی دارد. در راستای برنامه‌ریزی استراتژیک کاهش آلودگی آبخوان، استراتژی‌های مختلف در مقابل سناریوهای مختلف با معیار حداقل-حداکثر تاسف مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت سه استراتژی برای کاهش آلودگی منابع آب زیرزمینی ارائه شد. با توجه به نتایج، استفاده از استراتژی (عایق بندی محیط پیرامون خط لوله) منجر به کاهش ۷۰ درصدی آلودگی آب‌های زیرزمینی و استفاده از استراتژی (پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای برای قطع جریان سیال در وقوع زمین لرزه) که به عنوان استراتژی استوار شناخته شد منجر به کاهش ۷۵ درصدی آلودگی آبخوان شده است.

نتایج: براساس نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل توسعه داده شده در این پژوهش مشخص گردید که مدل ارائه شده دارای عملکرد قابل قبولی در پیش‌بینی آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط لوله انتقال سوخت و ارزیابی آلودگی آبخوان بوده است. این مدل قابلیت پیاده‌سازی در مناطق مختلف شهری و ارزیابی عملکرد سیستم انتقال سوخت تحت سناریوهای مختلف زمین لرزه و نیز ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی را داشته و به عنوان یک مدل مرجع می‌تواند به صورت گسترده مورد استفاده فعالان و طراحان قرار گیرد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از مدیریت استراتژیک کنترل آلودگی آب زیرزمینی، بهره‌گیری از استراتژی پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای برای قطع جریان سیال در وقوع زمین‌لرزه می‌تواند به عنوان یک راهکار فراگیر در راستای کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی بر منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق لرزه‌خیز مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: آلودگی آب‌های زیرزمینی، برنامه‌ریزی استراتژیک، ANN، DRASIC



مقدمه

زمین‌لرزه به‌عنوان یکی از مهمترین فجایع طبیعی به‌شمار می‌رود و باعث بروز خسارات مالی، جانی و زیست‌محیطی گسترده در مناطق مختلف دنیا به‌ویژه در مناطق لرزه‌خیز بوده‌است. زلزله به واسطه تخریب سازه‌های نگهدارنده و انتقال دهنده مواد خطرناک از جمله مواد نفتی یکی از تهدیدهای جدی محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شود. این خسارت‌ها می‌تواند نتیجه حرکت توده‌های بزرگ زمین یا به‌طور معمول لرزش زمین باشد. در نتیجه‌ی این حرکات، سازه‌های واقع در سطح و زیرزمین دچار آسیب می‌شوند. به دلیل وجود گسل‌ها و پوسیدگی‌های احتمالی لوله‌های مدفون سوخت شهری، در صورت وقوع زلزله دامنه بحران زلزله و آسیب‌های جدی آن به انسان و محیط زیست شدیدتر می‌شود. یکی از مهمترین تهدیدات در این شرایط، آلوده شدن آب‌های زیرزمینی توسط هیدروکربن‌های نفتی می‌باشد. آثار زلزله بر آب‌زیرزمینی در دو بخش سطحی و عمیق قابل بررسی است. تا کنون آب‌های زیرزمینی سطحی به شدت توسط فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و نیز فاضلاب شهری آلوده شده است، ولی آب زیرزمینی عمیق هنوز از منابع مهم آب شیرین به‌شمار می‌رود. خطلوله انتقال سوخت یکی از تاسیسات زیربنایی شهری بوده که عمدتاً از لوله‌های مدفون در خاک و تانک‌های ذخیره سوخت بر روی زمین تشکیل شده‌است. یکی از آثار مخرب زمین لرزه، آسیب‌پذیری شبکه انتقال سوخت (خطلوله مدفون در خاک) بوده که بر اثر رخداد شکست و نشت در خط لوله و انتقال مواد هیدروکربنی به آبخوان می‌تواند به عنوان یکی از منابع اصلی آلودگی ذخایر آب‌زیرزمینی بر اثر وقوع زمین لرزه باشد. در این راستا و به دلیل مواجهه با شرایط عدم قطعیت وقوع زمین‌لرزه از نقطه نظر زمان رخداد، شدت و میزان آسیب، نیاز است تا آنالیز آسیب‌پذیری و آنالیز ریسک بر روی شبکه انتقال سوخت تحت سناریوهای زمین لرزه مختلف صورت پذیرد و با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت، ارزیابی بر آلودگی منابع آب زیرزمینی براساس نشت آلاینده‌های نفتی حاصل از شکست سیستم انتقال سوخت پیاده‌سازی گردد.

تا به امروز مطالعات نسبتاً جامعی بر ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطلوله مدفون در خاک توسط محققین و با بهره‌گیری از روش‌های مختلف انجام شده‌است. در این راستا روش‌های کلی طراحی لوله‌های مدفون سوخت با تأکید بر فرآیند ساخت و بهره‌برداری و نیز ارزیابی عملکرد خطلوله تحت شرایط بارگذاری مختلف توسط موزر^۱ (۲۰۰۸) و واتکینز^۲ (۲۰۰۰) مورد مطالعه قرار گرفت، نتایج حاصل از این پژوهش منجر به ارائه چارچوبی برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لوله مدفون گردید. هویوک^۳ و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعات خود آنالیز ریسک

لرزه‌ای خطوط لوله مدفون را مورد ارزیابی قرار داد، همچنین ایشان در این پژوهش روشی برای کاهش احتمال شکست سیستم و نیز کاهش خسارات وارد شده ناشی از زلزله‌های سناریو ارائه داد. دیزوبنسکی^۴ و همکاران (۲۰۰۶) عملکرد لرزه‌ای و رفتار دینامیکی خطوط لوله در معرض تغییر شکل‌های دائمی زمین را مورد مطالعه قرار داد، نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر چارچوبی برای آنالیز ریسک لرزه‌ای خطلوله بود. قابلیت اطمینان شبکه شریان حیاتی لوله‌ها که تحت خطر تغییر شکل‌های ناشی از جابجائی زمین می‌باشند توسط سلجوک^۵ و یوکمن^۶ (۲۰۰۰) مورد بررسی قرار گرفتند، در این مطالعات روش‌های مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه خطلوله برپایه روش‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعات دیگر برآورد خسارت ناشی از زلزله در خطوط لوله مدفون توسط توپراک^۷ و تاکسین^۸ (۲۰۰۷) انجام گرفت. تارینکان^۹ و همکاران (۲۰۰۷) از نقشه‌های خطر برای شناسائی قطعات آسیب‌پذیر خطوط لوله در برابر زلزله و تدوین استراتژی‌های کاهش آسیب با انجام مطالعات جامع ریسک لرزه‌ای استفاده کردند، نتایج حاصل منجر به ارائه روشی کارآمد جهت بررسی آسیب‌پذیری خطلوله مدفون گردید. اسپوسیتو^{۱۰} (۲۰۱۱) سیستم اطلاعاتی GIS را در مورد خصوصیات فیزیکی و اجرایی خطلوله انتقال گاز به منظور شناسائی رفتار لرزه‌ای سیستم توسعه داد، همچنین خطر تغییر شکل موقتی زمین و نیز تغییر شکل دائمی زمین و تأثیر آن بر شبکه خطلوله گاز مورد مطالعه قرار گرفت. ککیرگه^{۱۱} (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به ارزیابی ریسک کمی خطوط مدفون سوخت پرداخته و با استفاده از روش شاخص (index method) و آنالیز چند متغیره، متدولوژی برای آنالیز ریسک لوله مدفون سوخت را ارائه داد. گلبرگ^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعاتی به ارزیابی عوامل خطر لوله و اولویت بندی شدت خطر آنها به منظور جلوگیری از اثرات آنها در تالاب بین‌المللی شادگان ایران پرداختند، در این تحقیق از روش‌های برنامه‌ریزی سلسله‌مراتبی (AHP) و روش دلفی استفاده گردید و اثرات ریسک خطوط لوله بر عوامل زیست محیطی منطقه به صورت کمی بیان شد. مارتینی^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۸) کاهش نشت آب در شبکه توزیع در شرایط وقوع زمین‌لرزه را بررسی کردند و یک استراتژی مناسب برای کنترل فعال میزان نشت ارائه دادند، در این پژوهش هدف اصلی بررسی روش‌های شناسایی نشت بر مبنای ویژگی‌های ذاتی سیگنال‌های اندازه‌گیری شده و نه بر مبنای بزرگی نسبی آنها بود. آنها یک مدل کوچک از شبکه توزیع را شبیه‌سازی کردند. نتایج آزمایشگاهی اثربخشی روش پیشنهادی را تأیید کردند. ژانگ^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۹) یک روش جدید برای ارزیابی ایمنی خطوط مدفون تحت فشار، تحت شرایط لرزه‌ای غیر تصادفی و بر اساس مدل ابری ارائه دادند.

چاه‌ها پس از وقوع زمین‌لرزه تغییرات ملموسی داشته است، نتایج بیانگر تاثیر زمین‌لرزه بر خصوصیات کیفی آب‌زیرزمینی بوده است. قرشی^{۲۶} و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان شهر لاهور پاکستان به کمک مدل DRASTIC در محیط GIS پرداختند. در این پژوهش حساسیت‌سنجی نسبت به پارامترهای موثر بر کیفیت آب‌زیرزمینی انجام شد، نتایج نشان داد که نقش فعالیت‌های انسانی و ظرفیت طبیعی آبخوان در میزان آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دارای تاثیر بیشتری نسبت به سایر عوامل بوده است. جعفری^{۲۷} و همکاران (۲۰۱۶) آسیب-پذیری آبخوان و ارزیابی ریسک به منظور حفاظت از منابع آب‌زیرزمینی در برابر آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی را با ترکیب روش DRASTIC و روش شبیه‌سازی مونت کارلو مورد بررسی قرار دادند. ژنگ^{۲۸} و همکاران (۲۰۱۷) در زمینه مدیریت منابع آب و با استفاده از مدل DRASTIC به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان پرداختند. نتایج نشان‌دهنده چگونگی ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان به کمک کالیبراسیون با الگوریتم ژنتیک باینری (Bi-GA) بوده است. میاوا^{۲۹} و همکاران (۲۰۱۹) آلودگی آب‌زیرزمینی یکی از معادن استان جیلین کشور چین را ارزیابی کردند. آلودگی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از آنالیز SPA3 انجام گرفت و عدم قطعیت ناشی از اندازه‌گیری پارامترهای موثر به کمک شبیه‌سازی مونت کارلو در نظر گرفته شد. برای بالا بردن دقت شبیه‌سازی آنالیز حساسیت بر روی پارامترها و متغیرهای حساس با استفاده از روش کریجینگ^{۳۰} انجام گرفت و در نهایت درصد آلودگی در ۷ حلقه چاه پایین دست مشخص گردید، نتایج بیانگر میزان تاثیرگذاری عوامل مختلف در آلودگی آبخوان در منطقه مطالعاتی بوده است. باربولسکو^{۳۱} (۲۰۲۰) در مطالعاتی عملکرد مدل DRASTIC برای ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار داد، در این پژوهش که به صورت مروری انجام شد، مزایا و معایب مدل DRASTIC و مهمترین تحقیقات صورت گرفته براساس این مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از عملکرد قابل قبول مدل DRASTIC در شبیه‌سازی آلودگی و ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان بوده است. برا^{۳۲} و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی با بهره‌گیری از مدل DRASTIC در منطقه نیمه خشک پرداخت. نتایج بیانگر عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی پتانسیل آلودگی و آسیب‌پذیری آبخوان بود. یو^{۳۳} و همکاران (۲۰۲۲) مطالعاتی بر ارزیابی ضرایب و وزن مولفه‌های تشکیل‌دهنده مدل DRASTIC انجام دادند. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر بهینه‌سازی پارامترها و وزن‌های مدل DRASTIC به منظور تحقق برآوردهای قابلیت اطمینان آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بود. با ارزیابی مطالعات صورت گرفته توسط محققین پیشین مشخص می‌گردد که آنالیز آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط

ونگ^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعاتی به ارزیابی آسیب‌پذیری خطلوله انتقال گاز شهری پرداختند، در این پژوهش به جهت تحلیل آسیب و ارزیابی ریسک در خطلوله انتقال گاز از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. مقدم^{۱۶} و مهدوی^{۱۷} (۲۰۲۰) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری خطلوله مدفون با بهره‌گیری از روش مدلسازی المان محدود و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. گرموسو^{۱۸} (۲۰۲۱) به ارزیابی پاسخ لرزه‌ای خطوط لوله مدفون با استفاده از یک مدل پارامتری سه بعدی برهم‌کنش خاک-خط لوله پرداختند. ماکراکیس^{۱۹} و همکاران (۲۰۲۲) مطالعاتی پیرامون ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط لوله انتقال گاز در شرایط کارگذاری در خاک نرم انجام دادند. در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی برای تحلیل آسیب‌پذیری خطلوله تحت شرایط جابه‌جایی زمین و با در نظر گرفتن محیط پیرامون لوله (خاک نرم) استفاده شد. نتایج بیانگر عملکرد قابل قبول روش ANN در ارزیابی آسیب‌پذیری خط لوله بود. جین-کی^{۲۰} و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی به بررسی عملکرد مدل احتمالی حالت شکست نهایی خط لوله، رابطه بین PGV و حداکثر کرنش خط لوله مدفون پرداختند. همچنین مدل آسیب‌پذیری لرزه‌ای براساس مشخصات خط لوله نظیر متریکال، ضخامت، قطر و طول مشخصه، توسعه داده شد. نتایج حاصل از این پژوهش منجر به ارائه مدلی نظری به منظور تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای در ارزیابی خطر لرزه‌ای خطوط لوله مدفون شد.

ارزیابی آلودگی و آسیب‌پذیری لرزه‌ای منابع آب‌زیرزمینی یکی از مباحث مورد توجه محققین بوده است، در این راستا روجستاکزر^{۲۱} (۱۹۹۵) به بررسی تغییرات آب‌زیرزمینی منطقه پس از زلزله اکتبر ۱۹۸۹ در کالیفرنیا پرداخت. نتایج نشان داد که بعد از وقوع زلزله تغییرات چشم‌گیری در خصوصیات کمی و کیفی آب‌زیرزمینی شامل: ۱- افزایش حجم جریان آب در اثر وقوع زمین‌لرزه، ۲- افزایش غلظت یونی جریان آب، ۳- افت سطح آب‌زیرزمینی تا شعاع ۱۵ کیلومتری کانون زمین‌لرزه رخ داده است. کلاسون^{۲۲} (۲۰۰۴) تغییرات شیمیایی نمونه‌های برداشته شده از عمق ۱۵۰۰ متری چاه‌های گمانه، قبل و پس از وقوع زلزله ۵/۸ ریشتری سال ۲۰۰۲ در ایسلند را بررسی کرد، نتایج حاصل بیانگر تغییرات پارامترهای کیفی آب چاه بعد از رخداد زمین‌لرزه بوده است. لیو^{۲۳} و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی وضعیت یک آبخوان نزدیک مرکز زلزله با بزرگای ۷/۲ ریشتری که در سال ۲۰۰۶ در کشور تایوان رخ داد، پرداختند، نتایج نشان داد که مقادیر غلظت کلسیم و بی‌کربنات قبل از زلزله دارای نرخ افزایش زیادی بودند ولی پس از زلزله با نرخ ثابتی کاهش یافتند. ملکوتیان^{۲۴} و نوری^{۲۵} (۲۰۱۰) برای تعیین اثر زلزله بر روی کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی در نواحی نزدیک مرکز زلزله بم (بزرگای ۶/۳ ریشتری در دسامبر ۲۰۰۳) مطالعات جامعی انجام دادند. نتایج نشان داد که پارامترهای کیفی آب

مواد و روش تحقیق

منطقه مطالعاتی

دشت تهران از نظر تقسیم بندی حوزه‌های آبریز ایران، بخشی از حوزه آبریز مرکزی می‌باشد، که از دامنه‌های جنوبی البرز شروع و تا دشتهای ورامین و شهریار گسترش یافته‌است. این دشت از شمال به ارتفاعات شمالی تهران، از جنوب به بند علیخان، از شرق به مرز بین رودخانه‌های جاجرود و سرخه حصار، از جنوب شرقی به مرز شبکه ورامین، از غرب به رودخانه شور منتهی می‌شود. این محدوده از نظر جغرافیایی، بین طول‌های ۵۱ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه و عرض‌های ۳۵ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه قرار دارد. مساحت این دشت ۲۷۰۴ کیلومترمربع می‌باشد. رودخانه‌های موجود در این محدوده عموماً از ارتفاعات جنوبی رشته‌کوه البرز سرچشمه گرفته و پس از دریافت جریان‌های سطحی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی تهران و منطقه جنوب تهران، به سمت جنوب و کویر مرکزی جریان می‌یابد. آبخوان ناحیه مورد مطالعه دشت تهران بصورت آزاد بوده، عناصر عمده تشکیل دهنده آبخوان به نسبت‌های متفاوتی از عناصر تخریبی نظیر رس، ماسه، شن و قلوه سنگ تشکیل یافته است و عموماً در نواحی ورودی و شمالی دشت رسوبات درشت‌دانه‌تر درصد بیشتری از بافت خاک را شامل می‌شوند و به سمت نواحی خروجی و جنوبی دشت و با فاصله یافتن از محورهای رسوب‌گذاری به تدریج قطر ذرات کاهش می‌یابد. در شکل (۱) لایه اطلاعاتی نقشه شهر تهران به همراه شبکه انتقال سوخت نمایش داده شده‌است.

لوله مدفون به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی فعالان در حوزه مدیریت ریسک مدنظر بوده است. همچنین توسعه مدل‌های پیش‌بینی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در راستای تحلیل ریسک، یکی از نیازهای پژوهشی (خلاهای تحقیقاتی) در مواجهه با سناریوهای مختلف لرزه‌ای و تدوین سناریوهای مدیریت بحران مطرح بوده‌است. علاوه براین با بررسی مطالعات انجام شده مشخص می‌گردد که مدل DRASTIC دارای عملکرد قابل قبولی در شبیه‌سازی آلودگی منابع آب زیرزمینی و تخمین پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان بوده‌است.

در این پژوهش هدف اصلی، ارائه یک سیستم یکپارچه برای تحلیل خطر لرزه‌ای و ارزیابی ریسک در شرایط عدم قطعیت بر روی شبکه انتقال سوخت شهری بوده که در قالب مطالعات موردی بر شبکه انتقال سوخت شهر تهران پیاده‌سازی شده‌است. نوآوری اصلی پژوهش پیش‌رو توسعه مدل نوینی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه انتقال سوخت و ارزیابی آلودگی آب‌زیرزمینی با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی ANN و روش DRASTIC بوده‌است. در مدل توسعه داده شده، پیامدهای حاصل از شکست شبکه انتقال سوخت براساس سناریوهای لرزه‌ای بر آلودگی آب‌های زیرزمینی شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفته و پس از بررسی عملکرد شبکه انتقال سوخت (آنالیز آسیب‌پذیری لرزه‌ای)، با بهره‌گیری از مدل DRASTIC اثر نشت فرآورده‌های سوختی بر آب‌های زیرزمینی ارزیابی شده است، در نهایت برنامه‌ریزی استراتژیک با بهره‌گیری از روش درجه استواری و تئوری حداقل-حداکثر تاسف به منظور کاهش اثرات محتمل آلودگی آب‌های زیرزمینی ارائه شده‌است.



شکل ۱. لایه اطلاعاتی نقشه شهر تهران به همراه شبکه انتقال سوخت (گزارش سالیانه شرکت پالایش فرآورده‌های نفتی ایران، ۲۰۱۸)



شکل ۲. روندنمای فرآیند محاسبات مدل شبکه عصبی مصنوعی و دراستیک

کاهش آلودگی آب‌زیرزمینی تشکیل شده که در ادامه روند محاسبات و جزئیات مدل‌سازی در هریک از سه بخش مورد بررسی قرار گرفته است.

ارزیابی آسیب‌پذیری لزه‌ای خط لوله مدفون

به جهت توسعه مدل پیش‌بینی آسیب لزه‌ای لوله مدفون، مطالعاتی جامع بر پژوهش‌های صورت گرفته توسط محققین پیشین انجام شده است (Lanzano et al., (2014); Makhoul (2017); Sakai et al., (2020); et al.). با بررسی انجام شده مشخص گردید که ضعف اصلی مدل‌های ارائه شده تا به امروز در نظر گرفتن بخشی از پارامترهای موثر بر عملکرد لزه‌ای لوله تحت شرایط بارگذاری دینامیکی زمین لرزه بوده که سبب گردیده مدل‌های ارائه شده دارای عملکرد محدودی باشد. به

روش تحقیق

در این پژوهش مدلی جامع برای ارزیابی آلودگی لزه‌ای آبخوان براساس آسیب‌پذیری خط لوله انتقال سوخت با بهره‌گیری از روش ANN و مدل DRASTIC توسعه داده شده است همچنین استراتژی‌هایی در راستای کاهش آثار زیست محیطی ناشی از نشت فرآورده‌های سوختی به آبخوان با بهره‌گیری از تئوری حداقل-حداکثر تاسف ارائه شده است. در شکل (۲) روش‌شناسی پژوهش ارائه شده است.

در شکل (۲) الگوریتم مدل محاسباتی ارزیابی آلودگی آبخوان بر اثر آسیب لزه‌ای خط لوله سوخت ارائه شده است. با توجه به شکل مشخص می‌گردد که مدل توسعه داده شده در این پژوهش از ۳ بخش اصلی: ۱- ارزیابی آسیب‌پذیری لزه‌ای خط لوله، ۲- ارزیابی آلودگی آبخوان، ۳- مدیریت استراتژیک

لوله تحت تاثیر سه پارامتر اصلی: ۱- عمق کارگذاری لوله، ۲- میزان جابه‌جایی خاک پیرامون لوله تحت بارگذاری لرزه‌ای، ۳- اندرکنش خاک و لوله (نیروی اصطکاک بین خاک و لوله) بود. از بین سه پارامتر مذکور، عمق کارگذاری لوله بر اساس مشخصات خط لوله به مدل وارد می‌گردد. پارامتر دوم که بیانگر میزان جابه‌جایی خاک پیرامون لوله بر اساس سناریو بارگذاری لرزه‌ای است، بر اساس روابط تقریبی ارائه شده محاسبه شده است. بر این اساس با توجه به بزرگای زمین لرزه میزان جابه‌جایی خاک از رابطه (۱) تقریب زده می‌شود:

$$\log(MD) = -5.26 + 0.79M \quad (1)$$

در رابطه (۱) پارامتر M بیانگر بزرگای زمین لرزه با واحد ریشتر می‌باشد، همچنین پارامتر MD میزان جابه‌جایی بیشینه خاک تحت بارگذاری لرزه‌ای با واحد اینچ بوده است. در بخش دوم مدل پژوهش به جهت محاسبه اندرکنش خاک-لوله میزان اصطکاک بین خاک و لوله با بهره‌گیری از تنش نرمال محاسبه شده در بخش اول مدل بر اساس رابطه (۲) محاسبه شده است:

$$f_m = \sigma' \tan \phi_p \quad (2)$$

در اینجا پارامتر f_m : اصطکاک بین خاک-لوله در واحد طول لوله، σ' : تنش نرمال در عمق کارگذاری، ϕ : زاویه اصطکاک بین خاک و لوله و ϕ_p : قطر لوله بوده است. به‌طور کلی در الگوریتم‌های هوش مصنوعی نیاز است تا ابتدا براساس مجموعه‌ای از داده‌های اولیه (ماتریس X و بردار پاسخ Y) مدل عددی آموزش دیده و ارتباطی منطقی بین ورودی (ماتریس متغیرها X) و بردار پاسخ (Y) استخراج نماید. با توجه به توضیحات ارائه شده، به منظور توسعه مدل‌های عددی، در بخش اول مدل (پیش‌بینی تنش بر لوله مدفون) براساس ارزیابی مطالعات پیشین از مجموعه ۵۴۲ داده اولیه براساس متغیرهای (ماتریس X) به عنوان ورودی و بردار پاسخ (بردار Y) به عنوان خروجی استفاده شد. همچنین در بخش دوم مدل پیش‌بینی، از مجموعه داده‌ای با تعداد ۴۸۰ داده که بیانگر ارتباط بین ۳ متغیر (ماتریس X) و بردار پاسخ (بردار Y) بود استفاده شد. خصوصیات آماری مجموعه داده به‌کارگیری شده در الگوریتم‌های هوش مصنوعی در جداول (۱، ۲) ارائه شده است.

جدول (۱) بیانگر مشخصات آماری مجموعه داده‌های اولیه برای توسعه مدل پیش‌بینی میزان تنش نرمال در لوله مدفون در خاک بوده است. با توجه به توضیحات ارائه شده مشخص گردید که مدل پیش‌بینی تنش نرمال در لوله در شرایط استاتیکی با بهره‌گیری از شش پارامتر ورودی اولیه (براساس جدول ۱ پارامترهای $x1$ تا $x6$) میزان تنش نرمال لوله (براساس جدول ۱ پارامتر y) را محاسبه و پیش‌بینی می‌نماید.

طور کلی برای بررسی رفتار لوله مدفون در زمین باید شرایط بارگذاری استاتیکی و دینامیکی بر لوله مورد تجزیه تحلیل قرار گیرد تا رفتار لرزه‌ای لوله به درستی مدل‌سازی گردد. منظور از بارگذاری استاتیکی، عملکرد لوله در شرایط عدم وجود بارگذاری لرزه‌ای بوده است. در این شرایط لوله تحت تنش‌های اعمالی از محیط خاک بوده که بر اساس خصوصیات خاک، عمق کارگذاری و شرایط وجود آب در خاک (میزان بارش و نفوذ بر زمین-تراز آب در محیط خاک) مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین در شرایط استاتیکی میزان تنش نرمال وارد بر لوله از خاک پیرامون به عنوان یکی از مولفه‌های اصلی در ارزیابی آسیب لرزه‌ای خط لوله طبقه‌بندی می‌شود. علاوه بر این، لوله در شرایط بارگذاری لرزه‌ای تحت تنش‌های برشی بر اساس جابجایی توده خاک پیرامون قرار گرفته که منجر به رخداد آسیب (شکست یا نشست) در بدنه لوله می‌گردد. بنابراین برای آنالیز دقیق آسیب لرزه‌ای بر خط لوله علاوه بر در نظر گرفتن میزان تنش‌های نرمال تحت شرایط استاتیکی باید تنش‌های برشی حاصل از حرکت خاک پیرامون لوله بر اساس بارگذاری لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد.

در مدل ارزیابی آسیب‌لرزه‌ای توسعه داده شده در این پژوهش هردو شرایط استاتیکی و دینامیکی حاکم بر خط‌لوله مدنظر قرار گرفت. بر این اساس مدل توسعه داده شده به دو بخش تفکیک شد. بخش اول شامل پیش‌بینی عملکرد لوله تحت شرایط استاتیک (تنش نرمال حاکم بر لوله) بوده و بخش دوم شامل پیش‌بینی عملکرد لوله تحت شرایط بارگذاری دینامیکی می‌باشد. در بخش اول مدل مورد نظر بر اساس پارامترهای موثر در رفتار استاتیکی لوله، میزان تنش نرمال وارد بر خط لوله را پیش‌بینی می‌نماید و در بخش دوم براساس پارامترهای لرزه‌ای و بهره‌گیری از نتایج بخش اول (تنش نرمال استاتیکی) میزان آسیب وارد بر لوله پیش‌بینی می‌گردد. در مدل پژوهش برای ارزیابی رفتار استاتیکی و استخراج تنش نرمال وارد بر لوله شش پارامتر: ۱- عمق کارگذاری خط لوله، ۲- ضخامت لوله، ۳- قطر لوله، ۴- میزان بارش (در نظر گرفتن سطح آب در محیط خاک که به صورت مستقیم بر میزان تنش محوری بر لوله موثر بوده است)، ۵- مدول الاستیسیته لوله (در نظر گرفتن جنس لوله)، ۶- وزن مخصوص خاک پیرامون لوله، به عنوان اصلیترین مولفه‌های موثر در نظر گرفته شده است. خروجی حاصل از این بخش ارائه دهنده میزان تنش وارد بر لوله تحت شرایط عدم بارگذاری لرزه‌ای بوده است. با بهره‌گیری از نتایج حاصل از بخش اول مدل، عملکرد لرزه‌ای لوله که بیانگر میزان آسیب لرزه‌ای بر خط لوله بوده توسعه داده شده است. به طور کلی رفتار لرزه‌ای لوله و به دنبال آن آسیب وارد بر خط

جدول ۱. مشخصه‌های آماری مجموعه داده‌های اولیه برای آموزش مدل‌های پیش‌بینی تنش در لوله مدفون

متغیر/پاسخ	ماکزیمم Max	مینیمم Min	میانگین Mean	انحراف معیار Std
x1: عمق کارگذاری خط لوله [m]	6	1	2.7273	1.2498
x2: ضخامت لوله [m]	0.04	0.01	0.0205	0.0047
x3: قطر لوله [m]	0.8	0.2	0.6091	0.2644
x4: سطح آب در محیط خاک [m]	2.4	0	0.9455	0.9019
x5: مدول الاستیسیته لوله (در نظر گرفتن جنس متریال لوله) [Mpa]	3.86	3.56	3.5736	0.0625
x6: وزن مخصوص خاک پیرامون لوله [Kg/m3]	2600	1750	1788.6364	177.0541
y: تنش وارد بر لوله مدفون [Mpa]	54.212	6.641	18.1064	11.9254
تعداد کل داده‌ها Dataset No. 542				

KS & Prasad (2014); Yoon et al., (2019); Ychen et al., (2017)

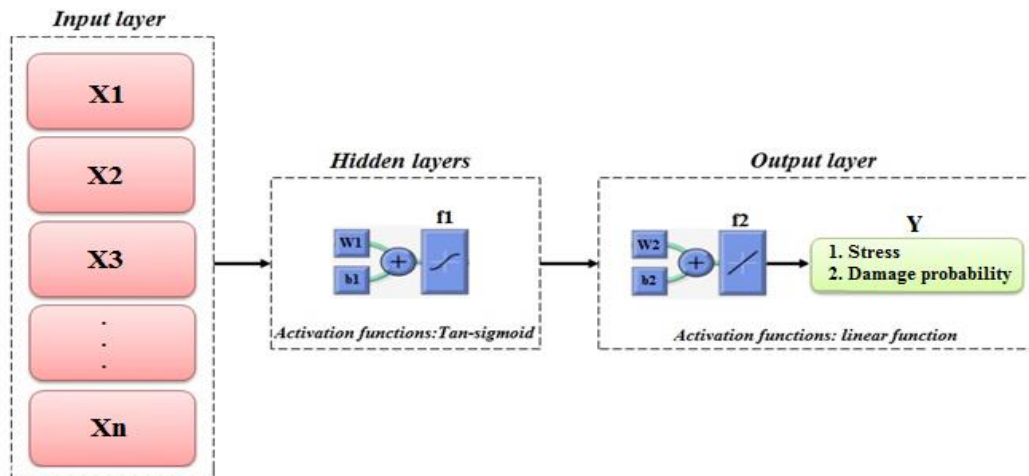
در جدول (۱) پارامترهای آماری مجموعه داده اولیه (شامل: ماکزیمم، مینیمم، میانگین و انحراف معیار داده‌ها) که دربردارنده ۶ پارامتر ورودی (ماتریس متغیرها [X]) و یک پارامتر خروجی (بردار Y) برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی می‌باشد ارائه شده است. همچنین در جدول (۲) مشخصه‌های آماری برای بخش دوم مدل (پیش‌بینی احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله مدفون) ارائه شده است، براساس مدل پیش‌بینی توسعه داده شده، بخش دوم مدل با بهره‌گیری از ۳ پارامتر ورودی اولیه (براساس جدول ۲ پارامترهای X1 تا X3) میزان احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله (براساس جدول ۲ پارامتر Y) را پیش‌بینی می‌نماید. در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی مدل عددی احتمال آسیب‌پذیری خط لوله استفاده شده است. با توجه به ماهیت مساله که تعیین ارتباط منطقی بین ماتریس متغیرها X و بردار پاسخ Y بوده، هدف اصلی از توسعه مدل پیش‌بینی استخراج ویژگی‌ها و ارتباط منطقی بین داده‌های ورودی و بردار خروجی بوده است. بر این اساس از شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (MLP) و الگوریتم یادگیری Levenberg-Marquardt که دارای عملکرد قابل قبول بوده، استفاده شده است. با توجه به شرایط حاکم بر مسائله به کارگیری شبکه پرسپترون (MLP) و الگوریتم یادگیری Levenberg-Marquardt برقرار کننده شرایط پایدار و کارآمدی برای

شبیه‌سازی قلمداد می‌گردد. در این پژوهش از شبکه عصبی تک لایه و روش آموزش مارکوارت استفاده شد. تابع انتقال Tan-Sigmoid و تابع خطی به ترتیب به عنوان توابع فعال‌سازی لایه‌های پنهان و لایه خروجی انتخاب شدند، زیرا آزمون و خطا عملکرد بهینه آنها را ثابت کردند (Mohanty et al., (2010); Trichakis et al., (2011); Safavi & Enteshari, (2016)). توابع فعال‌سازی در شبکه‌های عصبی با استفاده از مقادیر ورودی نرون، مقداری در خروجی تولید می‌کنند. به بیان جزئی‌تر، تابع فعال‌سازی مقدار مجموع ورودی وزن‌دار گره را به مقادیری بین ۰ تا ۱ یا ۱- تا ۱ (بسته به تابع فعال‌سازی) نگاشت می‌کند. سپس، این تابع، مقدار نهایی خود را به لایه بعد منتقل می‌کند. به همین دلیل، به این تابع، تابع انتقال نیز گفته می‌شود. در این راستا تابع انتقال Sigmoid یک تابع فعال‌سازی غیرخطی است که ورودی خود را به مقداری در بازه ۰ تا ۱ تبدیل می‌کند. هرچقدر مقدار ورودی بزرگ‌تر باشد، مقدار خروجی این تابع به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود. در حالی که اگر مقدار ورودی این تابع خیلی کوچک باشد (عدد منفی)، مقدار خروجی تابع سیگموئید به عدد صفر نزدیک‌تر می‌شود. در فلوجارت شکل (۳) شماتیک مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصه‌های آماری مجموعه داده‌های اولیه برای آموزش مدل‌های پیش‌بینی آسیب لرزه‌ای در لوله مدفون

متغیر/پاسخ	ماکزیمم Max	مینیمم Min	میانگین Mean	انحراف معیار Std
X1: عمق کارگذاری خط لوله [m]	0.93	0.18	0.4971	0.2032
X2: میزان جابه جایی خاکی پیرامون لوله تحت بارگذاری لرزه‌ای	1	0	0.4184	0.2646
X3: اندرکنش خاک و لوله (نیروی اصطکاک بین خاک و لوله)	0.95	0.81	0.8909	0.0263
Y: احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله	0.92	0	0.4234	0.1851
تعداد کل داده‌ها Dataset No. 480				

KS & Prasad (2014); Yoon et al., (2019); Ychen et al., (2017)



شکل ۳. شماتیک مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به شماتیک مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پژوهش (شکل ۳) مشخص می‌گردد که مدل‌های شبکه عصبی از سه لایه اصلی (۱- لایه ورودی، ۲- لایه‌های پنهان، ۳- لایه خروجی) تشکیل شده است. در این نوع شبکه عصبی تعداد لایه‌های پنهان به عنوان یکی از پارامترهای کلیدی در عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بوده است. بر این اساس حساسیت سنجی بر عملکرد شبکه عصبی نسبت به تعداد لایه‌های پنهان صورت گرفته است. به جهت بررسی و حساسیت سنجی عملکرد مدل تعداد لایه‌های پنهان شبکه عصبی به عنوان متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس مدل شبکه عصبی تحت ۶ شرایط مختلف: ۱- شبکه عصبی مصنوعی با ۳ لایه پنهان، ۲- شبکه عصبی مصنوعی با ۵ لایه پنهان، ۳- شبکه عصبی مصنوعی با ۷ لایه پنهان، ۴- شبکه عصبی مصنوعی با ۹ لایه پنهان، ۵- شبکه عصبی مصنوعی با ۱۲ لایه پنهان، ۶- شبکه عصبی مصنوعی با ۱۵ لایه پنهان از نقطه نظر تعداد لایه‌های پنهان حساسیت‌سنجی شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل توسعه داده شده، نیاز است تا معیارهایی جهت بررسی خطا تعیین گردد. در این پژوهش به جهت ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی از سه پارامتر آماری: ۱- جذر متوسط مربعات خطا (RMSE)، ۲- میانگین مربعات خطا (MSE)، ۳- ضریب همبستگی (R) استفاده شده است.

جهت توسعه مدل‌های شبکه عصبی، مجموعه داده‌های اولیه به سه بخش اصلی تقسیم می‌شوند:

- ۱- داده‌های آموزش: از این داده‌های مشاهداتی (مجموعه داده اولیه) برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌شود. براساس تعداد داده‌های اولیه، ۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش شبکه عصبی به کارگیری شده است.
- ۲- داده‌های اعتبارسنجی: از این داده‌ها برای اعتبارسنجی شبکه مصنوعی توسعه داده شده برای برقراری ارتباط منطقی بین متغیرهای ورودی و بردار خروجی استفاده می‌شود. براساس تعداد داده‌های اولیه، ۱۵ درصد از داده‌ها برای اعتبارسنجی مدل به کارگیری شده است.
- ۳- داده‌های آزمون: داده‌های آزمون هیچ تأثیری بر آموزش شبکه عصبی نداشته و به عنوان معیاری مستقل برای عملکرد مدل بعد از آموزش شبکه عصبی استفاده می‌شود. در مدل‌های شبکه عصبی توسعه داده شده ۱۵ درصد از داده‌ها به عنوان داده‌های آموزش به کارگیری شده است. در جدول (۳) طبقه بندی داده‌های مدل شبکه عصبی بر اساس هریک از تقسیم بندی داده‌ها و برای هر دو مدل پیش‌بینی ارائه شده است.

جدول ۳. طبقه بندی مجموعه داده‌های اولیه برای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی

بخش ۱: مدل پیش‌بینی تنش بر لوله		بخش ۲: مدل پیش‌بینی احتمال آسیب‌پذیری		طبقه بندی داده‌های اولیه
تعداد	درصد	تعداد	درصد	
380	70	336	70	داده‌های آموزش
81	15	72	15	داده‌های اعتبارسنجی
81	15	72	15	داده‌های آزمون
542	100	480	100	کل داده‌ها

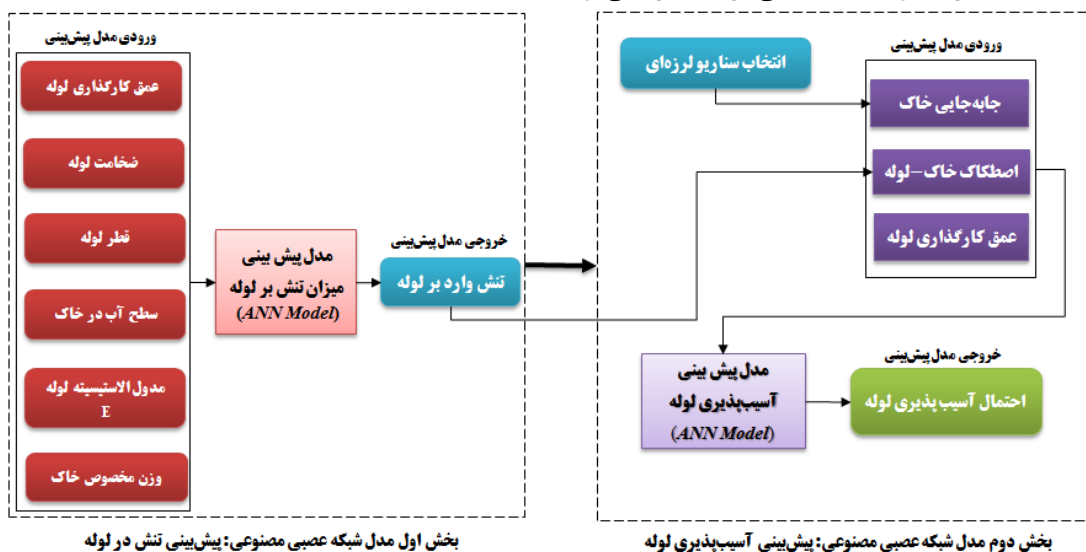
الگوریتم مدل شبکه عصبی مصنوعی پژوهش شامل هردو بخش (۱- پیش‌بینی تنش در لوله، ۲- پیش‌بینی احتمال آسیب‌پذیری لوله) ارائه شده است.

با توجه به توضیحات ارائه شده مشخص شد که مدل ارزیابی احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای براساس روش شبکه عصبی مصنوعی فرایند پیش‌بینی آسیب لرزه‌ای در خط لوله مدفون را پیاده‌سازی می‌نماید. در مدل‌های توسعه داده شده در این پژوهش سه سناریو لرزه‌ای: سناریو ۱: زمین لرزه با بزرگای ۵ ریشتر ($M_w = 5$)، سناریو ۲: زمین لرزه با بزرگای ۶ ریشتر ($M_w = 6$)، سناریو ۳: زمین لرزه با بزرگای ۷ ریشتر ($M_w = 7$) مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش برای در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت در داده‌های ورودی مدل‌های پیش‌بینی تنش و احتمال آسیب لرزه‌ای که به صورت مستقیم بر نتایج حاصل موثر می‌باشد، شرایط عدم قطعیت در داده‌های ورودی مدل در نظر گرفته شده است. با توجه به هدف اصلی مدل شبکه عصبی مصنوعی که ارزیابی احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای در خط لوله مدفون تحت سناریوهای مختلف زمین لرزه بوده، با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت در مقادیر داده‌های ورودی مدل، بحرانی‌ترین شرایط برای احتمال آسیب‌پذیری لوله استخراج می‌گردد. بر این اساس ۴ پارامتر اصلی: ۱- عمق کارگذاری، ۲- مدول الاستیسیته، ۳- چگالی خاک، ۴- بزرگای زمین لرزه در مدل‌های عددی براساس شرایط عدم قطعیت در مقادیر اولیه ورودی و با بهره‌گیری از تابع توزیع احتمال و ضریب تغییرات به تعداد تکرار روش مونت کارلو در مدل وارد و بحرانی‌ترین نتایج (بالاترین احتمال شکست لرزه‌ای لوله) استخراج شده است. بنابراین در گام اول، مدل سناریوی لرزه‌ای اجرا شد، پس از انتخاب سناریو، تعداد تکرار شبیه‌سازی مونت کارلو برای پارامترهای غیرقطعی (متغیرهای تصادفی) (۱- عمق کارگذاری، ۲- مدول الاستیسیته، ۳- چگالی خاک، ۴- بزرگای زمین لرزه) تعیین شد.

در راستای توسعه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به جهت مقایسه‌پذیر کردن داده‌های اولیه (جدول ۱، ۲) فرایند نرمالسازی داده‌ها برای تعیین رنج داده‌های اولیه بین ۰ و ۱ با بهره‌گیری از روش MinMaxNormalization براساس رابطه (۳) انجام شده است. بر این اساس داده‌های اولیه با توجه به مقادیر ماکزیمم و مینیمم مجموعه داده نرمال‌سازی شده است.

$$X_{normalize} = \frac{x - \min(X)}{\max(X) - \min(x)} \quad (3)$$

با توجه به توضیحات ارائه شده مشخص گردید که مدل پیش‌بینی آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط لوله که با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی توسعه داده شده، شامل دو بخش اصلی بوده که هر بخش براساس ساختار شبکه عصبی (شکل ۳) روند انجام محاسبات را پیاده‌سازی می‌نماید. در مدل ANN پژوهش پس از نرمال‌سازی داده‌های اولیه بخش اول مدل برپایه شبکه عصبی پرسپترون با شش نرون برای لایه ورودی (تعداد نرون‌های لایه ورودی براساس تعداد پارامترهای اولیه مدل شامل: x_1, x_2, \dots, x_6 براساس جدول ۱ می‌باشد) و یک نرون برای لایه خروجی (تعداد نرون‌های لایه خروجی براساس تعداد پارامتر خروجی مدل (بردار Y) که بیانگر تنش نرمال در لوله مدفون بوده است) اجرا شد، همچنین بخش دوم مدل شبکه عصبی براساس مقادیر تنش نرمال محاسبه شده از بخش اول برپایه شبکه عصبی با ۳ نرون برای لایه ورودی (پارامترهای اولیه مدل شامل: X_1, X_2, X_3 براساس جدول ۲) و یک نرون برای لایه خروجی (بردار Y بیانگر احتمال آسیب‌پذیری لوله مدفون) اجرا شده است. در راستای ارزیابی تاثیر انتخاب داده‌های اولیه برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون شبکه عصبی، تعداد تکرار ۱۰۰۰ بار نمونه‌گیری مجدد برای هر بخش از مدل انجام شده است. در شکل (۴) شماتیک از ساختار کلی و



شکل ۴. شماتیک ساختار کلی و الگوریتم مدل شبکه عصبی مصنوعی

آب‌های زیرزمینی ارائه می‌دهد که از رتبه بندی و وزن اختصاص داده شده به هفت پارامتر اصلی مذکور، حاصل می‌شود. رویه پیاده‌سازی مدل در معادله (۴) فرمول بندی شده‌است. هرچه نمره شاخص DRASTIC بالاتر باشد، آسیب پذیری آب زیرزمینی بیشتر است. اگر دامنه وزن‌دهی به پارامترهای اصلی مدل بین ۱ تا ۵ باشد، کمترین شاخص DRASTIC مقدار ۲۳ و بزرگترین آن ۱۳۰ است. شاخص DI بیانگر پتانسیل آلودگی آبخوان بوده که براساس رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

$$DERASTIC\ Index = \sum_{i=1}^{n1} D_{wi}D_{ri} + \sum_{i=1}^{n2} R_{wi}R_{ri} + \sum_{i=1}^{n3} A_{wi}A_{ri} + \sum_{i=1}^{n4} S_{wi}S_{ri} + \sum_{i=1}^{n5} T_{wi}T_{ri} + \sum_{i=1}^{n6} I_{wi}I_{ri} + \sum_{i=1}^{n7} C_{wi}C_{ri} \quad (4)$$

پارامترهای موجود در رابطه (۴) نمایانگر ۷ پارامتر اصلی مدل DERASTIC می‌باشد، در ترم‌های موجود در رابطه، زیروند r معرف امتیازدهی به هر پارامتر و زیروند w نمایانگر وزن اختصاص داده شده برای هر یک از پارامترها بوده‌است. در جدول (۴) وزن‌های نسبت داده شده به پارامترهای هفتگانه و در جدول (۵) رنج تغییرات هر پارامتر و امتیازدهی به آن ارائه شده‌است.

جدول ۴. وزن‌های نسبت داده شده به پارامترهای مدل DRASTIC

پارامترهای مدل DRASTIC	وزن اصلی در مدل
D عمق آب زیرزمینی	5
R تغذیه خالص	4
A محیط آبخوان	3
S محیط خاک	2
T توپوگرافی	1
I اثرمنطقه غیر اشباع	5
C هدایت هیدرولیکی	3

در راستای ارزیابی تاثیر نشت فرآورده‌های سوختی براساس آسیب لرزه‌ای خط لوله انتقال سوخت شهر تهران، پس از اجرای مدل‌های پیش بینی آسیب‌پذیری لرزه ای و استخراج تعداد شکست و نشت در لوله و تعیین لوله‌های آسیب دیده، میزان تخلیه از لوله‌های آسیب دیده به عنوان یک لایه اطلاعاتی تغذیه مواد آلاینده به مدل DRASTIC وارد و میزان تغییرات پتانسیل آلودگی آبخوان شهر تهران براساس سطح آسیب پذیری استخراج شده است. براین اساس میزان نشت از لوله برای شرایط شکست کامل معادل با ۸۰٪ دبی جریان در لوله و برای شرایط نشت معادل با ۶۰٪ دبی جریان در لوله در نظر گرفته شده است.

در نهایت هر بخش از خط لوله براساس مشخصات اصلی قطعه مورد نظر ارزیابی گردیده و احتمال آسیب‌پذیری قطعات مختلف خط لوله محاسبه می‌گردد، این روند تا آخرین قطعه از خط لوله طی شده و نتایج حاصل از پیش‌بینی احتمال آسیب پذیری خط لوله استخراج شده‌است. در نهایت مقادیر بحرانی بدست آمده برای احتمال آسیب ارزیابی گردیده و براساس نتایج حاصله تعداد شکست و نشت در لوله (شکست: احتمال آسیب‌پذیری < 0.8 ، نشت: < 0.8 احتمال آسیب پذیری < 0.6) محاسبه و استخراج شده‌است. بنابراین قطعاتی از خط لوله که دارای احتمال آسیب‌پذیری بیش از ۸۰ درصد بوده به عنوان شکست و قطعاتی که دارای احتمال آسیب پذیری بین ۶۰ تا ۸۰ درصد بوده به عنوان نشت در نظر گرفته شده‌است. نتایج حاصل از اجرای مدل بیانگر تعداد قطعات شکست، تعداد نشت و موقعیت قطعات آسیب دیده (شکست، نشت) از خط لوله براساس سناریوی لرزه‌ای انتخاب شده، بود. براساس مدل ارائه شده آنالیز آسیب‌پذیری لرزه‌ای بر خط لوله انتقال سوخت شهر تهران انجام شده‌است. براساس داده‌های اولیه از مشخصات و خصوصیات خط لوله سوخت شهر تهران کل شبکه انتقال به ۸۳۴ قطعه با داده‌های اولیه مشخص تقسیم بندی شده که براساس الگوریتم ارائه شده هر قطعه مورد ارزیابی قرار گرفته و با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت (شبیه‌سازی مونت کارلو) احتمال آسیب پذیری هر قطعه پیش‌بینی شده‌است. در نهایت براساس میزان احتمال آسیب محاسبه شده نوع آسیب (شکست یا نشت) در قطعات آسیب دیده ارائه شده‌است.

برآورد آلودگی آبخوان براساس روش DRASTIC

در این پژوهش در راستای بررسی تاثیر آثار زیست محیطی و آلودگی آبخوان سفره زیرزمینی استان تهران براساس نشت فرآورده‌های نفتی حاصل از آسیب لرزه‌ای خط لوله سوخت تحت وقوع زمین لرزه، از روش DRASTIC استفاده شده‌است. DRASTIC براساس ارزیابی ۷ پارامتر میزان آلودگی منتقل شده به آبخوان را مدلسازی نموده و پهنه‌بندی آلودگی آب زیرزمینی را ارائه مینماید. هفت پارامتر اصلی جهت اجرای مدل DRASTIC عبارتند از: ۱- D: عمق سفره آب زیرزمینی، ۲- R: نرخ جریان ورودی به سمت آبخوان، ۳- A: خصوصیات محیط آبخوان، ۴- S: خصوصیات محیط خاک، ۵- T: توپوگرافی، ۶- I: تاثیر محیط ناحیه غیر اشباع بالای آبخوان، ۷- C: هدایت هیدرولیکی.

DRASTIC یک روش مفهومی است که به عنوان توصیف ترکیبی از مهمترین عوامل زمین شناسی و هیدرولوژیکی که می‌تواند به طور بالقوه بر آلودگی آبخوان تاثیر بگذارد تعریف میشود. DRASTIC یک نقشه شاخص عددی از آسیب پذیری

جدول ۵. رنج تغییرات و امتیازبندی پارامترهای مدل DRASTIC در

ارزیابی آسیب پذیری آبخوان		
پارامتر	رنج تغییرات پارامتر	وزن
عمق سطح ایستایی پارامتر D	10-15	7
	15-20	5
	20-25	3
	25-30	2
	2-5	1
تغذیه خالص پارامتر R	5-7	3
	7-9	5
	9-11	7
	11-13	9
محیط آبخوان پارامتر A	ماسه و سنگ متناوب	3
	رس	7
	شن و ماسه	9
محیط خاک پارامتر S	سنگ و صخره	10
	شن	9
	شنی لومی	8
	شنی رسی لومی	7
	رسی لومی	6
	سیلتی لوم	5
	لومی ماسه ای	4
	رسی	3
	لومی	2
	0-2	10
شیب توپوگرافی پارامتر T	2-6	9
	6-12	5
	12-18	3
	>18	1
منطقه غیراشباع پارامتر I	سیلت و رس	3
	رس مخلوط	5
	ماسه و رس	7
	دولومیت و سنگ آهکی	9
هدایت هیدرولیکی پارامتر C	0.4-4	1
	4-12	2
	12-28	4
	28-40	6
	40-80	8

جذابیت و عملکرد قابل قبول بین استراتژی‌های مختلف را داشته باشد به عنوان استراتژی استوار انتخاب می‌گردد. با توجه به توضیحات مذکور، درصد عملکرد یک استراتژی بیانگر عملکرد آن استراتژی نسبت به مجموع عملکرد کلیه استراتژی‌ها در یک سناریو مشخص می‌باشد. با در نظر گرفتن پارامتر e_{ij} به عنوان عملکرد استراتژی i ام در سناریو j ام، درصد عملکرد هر استراتژی براساس رابطه (۵) محاسبه می‌گردد:

$$\% e_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sum_i e_{ij}} \quad j = 1, \dots, m \quad (5)$$

در رابطه فوق پارامتر m تعداد سناریوها بوده‌است. علاوه بر درصد عملکرد یک استراتژی در تعیین استراتژی استوار، پارامتر درجه استواری در اولویت بندی بین استراتژی‌های مختلف از اهمیت بالایی برخوردار بوده است، منظور از درجه استواری در نظر گرفتن احتمال وقوع هر سناریو در محاسبه درصد عملکرد استراتژی بوده‌است. براین اساس درجه استواری هر استراتژی به شرح ذیل محاسبه می‌گردد:

$$dr_i = \sum_j e_{ij} P_j \quad (6)$$

در رابطه (۶) پارامتر P_j احتمال وقوع سناریو j ام بوده‌است. برای محاسبه درجه استواری هر استراتژی عمدتاً از فرض احتمال رخداد مختلف برای هر سناریو استفاده شده و در نهایت استراتژی که تحت شرایط مختلف عملکرد مناسب تری داشته به عنوان استراتژی استوار انتخاب می‌گردد.

در این پژوهش به جهت در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت و اعمال احتمال رخداد هریک از سه سناریو ترکیبات مختلف احتمال رخداد سه سناریو برای محاسبه شاخص استواری مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. برای این منظور به تعداد ۱۰۰,۰۰۰ ترکیب مختلف از احتمال رخداد زمین لرزه با بزرگای ۵، ۶ و ۷ ریشتر برای محاسبه درجه استواری سناریو به کارگیری شده‌است. همچنین محاسبات براساس اعمال ضریب تاثیر عوامل موثر (میانگین جمع‌ی وزنی برای هر استراتژی c_i) به شرح ذیل انجام شده‌است.

$$dr_i = \sum_j \frac{e_{ij}}{\sum_i e_{ij}} P_j c_i \quad (7)$$

به جهت ارزیابی استوارترین استراتژی بر مبنای تئوری حداقل-حداکثر تاسف، براساس ارزیابی صورت گرفته درجه مطلوبیت هر استراتژی بر مبنای رخداد هر سناریو تحت ماتریس فضای تصمیم ایجاد می‌گردد. در این راستا درجه مطلوبیت هر استراتژی بر مبنای عملکرد استراتژی در هریک از سناریوهای برنامه‌ریزی تعیین می‌شود. در تئوری حداقل-حداکثر تاسف استراتژی که در سناریوهای مختلف و متعدد آینده عملکرد خوبی داشته باشد و کمترین میزان تاسف را ایجاد کند مبنای انتخاب استراتژی استوار بوده‌است. بنابراین میزان تاسف انتخاب

مدیریت استراتژیک کاهش آلودگی آب زیرزمینی

تدوین استراتژی‌های کاهش آلودگی آبخوان ناشی از آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه انتقال سوخت، تحت سناریوهای محتمل با در نظر گرفتن عوامل محرک و برنامه‌ریزی استراتژیک پیاده‌سازی می‌گردد. در این پژوهش هدف برنامه‌ریزی استراتژیک استوار با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی سناریو و برپایه درجه استواری و تئوری حداقل-حداکثر تاسف برای کاهش آثار زیست محیطی آلودگی آبخوان شهر تهران تحت آسیب لرزه‌ای شبکه انتقال سوخت بوده‌است. به جهت ارائه استراتژی استوار روش‌های مختلفی توسط محققین مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. به طور کلی در راستای تدوین استراتژی استوار باید اصل جذابیت و عملکرد قابل قبول استراتژی تحت سناریوهای مختلف مطرح شده ارزیابی شود. استراتژی که دارای بیشترین

نتایج حاصل از عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بر اساس تعداد لایه‌های پنهان ارائه شده است. در جدول (۶) مقادیر حاصل از خطای مدلسازی بر اساس هریک از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل مشخص می‌گردد که شبکه عصبی مصنوعی با ۱۲ لایه پنهان دارای عملکرد بهتری در پیش‌بینی تنش حاصل در لوله مدفون بوده، به گونه‌ای که میزان خطای MSE بر کل داده‌ها معادل با ۰،۵۸۴ و مقادیر آزمون همبستگی R معادل با ۰،۹۹۷۵ بوده است. در جدول (۷) مقادیر حاصل از خطای مدلسازی بر اساس هریک از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل مشخص می‌گردد که شبکه عصبی مصنوعی با ۹ لایه پنهان دارای عملکرد بهتری در پیش‌بینی احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای در لوله مدفون بوده، به گونه‌ای که میزان خطای MSE بر کل داده‌ها معادل با ۰،۰۱۸۳ و مقادیر آزمون همبستگی R معادل با ۰،۹۷ بوده است.

هر استراتژی در برابر هر سناریو، با کم کردن درجه مطلوبیت هر استراتژی از درجه مطلوبیت بهترین استراتژی در هر سناریو، محاسبه می‌گردد. در نهایت مقدار حداکثر تاسف هر استراتژی، مستقل از رخداد هر سناریو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در واقع حداکثر تاسف بیانگر حداکثر فرصتهای از دست رفته برای هر استراتژی به طور مستقل بوده است.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد مدل ANN در پیش‌بینی آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله مدفون

در این بخش نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی تنش وارد بر لوله مدفون ارائه شده است. همچنین حساسیت‌سنجی نسبت به تعداد لایه‌های پنهان در مدل ANN پیاده‌سازی شده که در ادامه نتایج حاصل از مدل مورد نظر ارزیابی شد. به جهت بررسی و حساسیت‌سنجی عملکرد مدل تعداد لایه‌های پنهان شبکه عصبی به عنوان متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. در جداول (۶ و ۷)

جدول ۶. ارزیابی نتایج حاصل از حساسیت‌سنجی مدل ANN پیش‌بینی تنش لوله مدفون بر اساس تعداد لایه‌های پنهان شبکه عصبی مصنوعی

R	RMSE	MSE	مجموعه داده‌ها	تعداد لایه‌های پنهان (HL) شبکه عصبی
9.98E-01	8.98E-01	8.06E-01	آموزش	HL = 3
9.94E-01	6.04E-01	3.65E-01	اعتبارسنجی	
9.83E-01	1.37E+00	1.88E+00	آزمون	
9.96E-01	9.44E-01	8.92E-01	کل داده‌ها	
9.95E-01	8.82E-01	7.78E-01	آموزش	HL = 5
9.66E-01	4.86E+00	2.37E+01	اعتبارسنجی	
9.93E-01	8.64E-01	7.46E-01	آزمون	
9.86E-01	1.97E+00	3.89E+00	کل داده‌ها	
9.99E-01	5.18E-01	2.68E-01	آموزش	HL = 7
9.93E-01	8.47E-01	7.17E-01	اعتبارسنجی	
9.99E-01	8.80E+00	7.75E+01	آزمون	
9.71E-01	3.29E+00	1.09E+01	کل داده‌ها	
9.97E-01	9.76E-01	9.52E-01	آموزش	HL = 9
9.99E-01	1.04E+00	1.09E+00	اعتبارسنجی	
9.90E-01	7.28E-01	5.30E-01	آزمون	
9.96E-01	9.57E-01	9.15E-01	کل داده‌ها	
9.99E-01	3.19E-01	1.02E-01	آموزش	HL = 12
9.57E-01	1.36E+00	1.84E+00	اعتبارسنجی	
9.99E-01	1.37E+00	1.89E+00	آزمون	
9.97E-01	7.64E-01	5.84E-01	کل داده‌ها	
9.97E-01	8.60E-01	7.40E-01	آموزش	HL = 15
9.99E-01	1.21E+00	1.47E+00	اعتبارسنجی	
9.93E-01	2.96E+00	8.76E+00	آزمون	
9.94E-01	1.39E+00	1.93E+00	کل داده‌ها	

جدول ۷. نتایج حاصل از حساسیت‌سنجی مدل ANN پیش‌بینی احتمال آسیب‌پذیری لوله بر اساس تعداد لایه‌های پنهان شبکه عصبی مصنوعی

R	RMSE	MSE	مجموعه داده‌ها	تعداد لایه‌های پنهان (HL) شبکه عصبی
9.32E-01	5.91E-02	3.49E-03	آموزش	HL = 3
9.55E-01	5.13E-02	2.63E-03	اعتبارسنجی	
9.12E-01	8.57E-02	7.34E-03	آزمون	
9.26E-01	6.28E-02	3.95E-03	کل داده‌ها	
9.21E-01	6.88E-02	4.74E-03	آموزش	HL = 5
9.71E-01	4.18E-02	1.75E-03	اعتبارسنجی	
9.77E-01	4.96E-02	2.46E-03	آزمون	
9.27E-01	6.26E-02	3.92E-03	کل داده‌ها	
8.91E-01	7.59E-02	5.76E-03	آموزش	HL = 7
9.82E-01	3.39E-02	1.15E-03	اعتبارسنجی	
9.71E-01	4.22E-02	1.78E-03	آزمون	
9.16E-01	6.65E-02	4.42E-03	کل داده‌ها	
9.88E-01	3.71E-02	1.38E-03	آموزش	HL = 9
9.68E-01	4.49E-02	2.02E-03	اعتبارسنجی	
9.81E-01	4.09E-02	1.67E-03	آزمون	
9.70E-01	4.28E-02	1.83E-03	کل داده‌ها	
9.74E-01	3.94E-02	1.55E-03	آموزش	HL = 12
7.24E-01	8.17E-02	6.67E-03	اعتبارسنجی	
8.89E-01	7.22E-02	5.21E-03	آزمون	
9.46E-01	5.39E-02	2.91E-03	کل داده‌ها	
9.71E-01	3.61E-02	1.30E-03	آموزش	HL = 15
9.52E-01	7.39E-02	5.46E-03	اعتبارسنجی	
9.01E-01	1.05E-01	1.10E-02	آزمون	
9.42E-01	5.92E-02	3.50E-03	کل داده‌ها	

جدول ۸. نتایج حاصل از آنالیز آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط لوله انتقال سوخت شهر تهران

ANN Model		سناریو
تعداد شکست	تعداد نشت	
2	15	سناریو اول: Mw = 5
7	25	سناریو دوم: Mw = 6
9	27	سناریو سوم: Mw = 7

مصنوعی ANN در سناریو اول برابر با ۱۵ برآورد شد که با افزایش بزرگای زمین لرزه (سناریو سوم $Mw = 7$) به تعداد ۲۷ نشت افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل نشان داد که میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه انتقال سوخت شهر تهران تحت سناریو دوم ($Mw=6$) شامل ۷ شکست و ۲۵ نشت در خط‌لوله بوده است. با ارزیابی نتایج حاصل مشخص می‌گردد که شبکه انتقال سوخت شهر تهران تحت شرایط بارگذاری زمین لرزه با بزرگای ۵ ریشتر هم دچار آسیب (شکست و نشت) گردیده که بیانگر حساسیت بالا و ریسک‌پذیری این شبکه تحت شرایط وقوع زمین لرزه می‌باشد.

نتایج حاصل از مدل‌های پیش‌بینی آسیب لرزه‌ای خط لوله با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش‌های قبل مدل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه انتقال سوخت شهر تهران اجرا و نتایج حاصل از اجرای مدل برای سناریوهای لرزه‌ای مختلف استخراج و در جدول (۸) ارائه شده‌است. با بررسی نتایج مشخص شد که تعداد شکست و نشت در خط لوله براساس افزایش شدت زمین لرزه افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که تعداد شکست بر اساس مدل ANN در زمین لرزه با بزرگای ۵ ریشتر برابر با ۲ و در زمین لرزه ۷ ریشتری برابر با ۹ بود. همچنین تعداد نشت بر اساس مدل شبکه عصبی

ارزیابی آلودگی آبخوان بر مبنای روش DRASTIC

به جهت اجرای روش DRASTIC لایه‌های اطلاعاتی که حاوی نقشه‌های رقومی برای هر یک از هفت پارامتر اصلی روش DRASTIC می‌باشد بر اساس وزن هر پارامتر و همچنین رنج تغییرات و امتیازبندی مقادیر هر یک از هفت پارامتر اجرا شده‌است. در این مرحله براساس داده‌های اخذ شده از استان تهران براساس رنج تغییرات هفت پارامتر و امتیازبندی آنها لایه‌های اطلاعاتی برای هر پارامتر ایجاد شده‌است. به جهت ارزیابی تاثیر نشت حاصل از آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط لوله انتقال سوخت، آبخوان شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته‌است. با توجه به نتایج حاصل از روش DRASTIC میزان پتانسیل آلودگی در آبخوان شهر تهران استخراج و تحت جدول (۹) ارائه شده است.

براساس نتایج ارائه شده در جدول (۹) مشخص می‌گردد که آبخوان در محدوده شهر تهران دارای پتانسیل آسیب‌پذیری در سه سطح کم (۶۲ درصد محدود)، سطح متوسط (۲۰ درصد محدود) و سطح زیاد (۱۸ درصد محدود) بوده و دارای سطح آسیب‌پذیری ناچیز و خیلی زیاد نمی‌باشد. روش DRASTIC با توجه به میزان وزن اختصاص داده شده به هر یک از هفت لایه اطلاعاتی براساس رابطه (۴) میزان شاخص آلودگی آبخوان را محاسبه می‌نماید. در روش DRASTIC فرایند کالیبراسیون و اختصاص وزن به لایه‌های اطلاعاتی در استخراج نتایج دقیق از پهنه‌بندی آلودگی آبخوان موثر بوده است. در این مطالعات به جهت ارزیابی عملکرد مدل DRASTIC در استخراج پتانسیل آلودگی آبخوان شهر تهران، نتایج حاصل با نتایج دو پژوهش ((Mohammadi et al., 2009); Noori et al., 2019)) که به ارزیابی میزان آلودگی آبخوان شهر تهران با بهره‌گیری از مدل DRASTIC معطوف بوده، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. در (جدول ۱۰) پهنه‌بندی آلودگی آبخوان در محدوده شهر تهران براساس نتایج حاصل از این پژوهش و مطالعات مذکور ارائه شده است. براساس نتایج حاصل مشخص می‌گردد که دقت مدل DRASTIC برپاسازی شده در این پژوهش نسبت به مطالعات ((Mohammadi et al., 2009)) دارای خطای ۴٫۸٪ و نسبت به مطالعات ((Noori et al., 2019)) دارای خطای ۶٫۰۵٪ در تخمین پتانسیل آلودگی آبخوان شهر

تهران بوده که بیانگر دقت قابل قبول مدل DRASTIC در ارزیابی آلودگی آبخوان شهر تهران بوده است.

جدول ۹. درصد تغییرات پتانسیل آلودگی آبخوان شهر تهران براساس

سطح آسیب‌پذیری روش DRASTIC		
درصد مساحت نسبت به کل منطقه	مساحت (Km2)	سطح آسیب‌پذیری
-	0	ناچیز
62 %	1519	کم
20 %	490	متوسط
18 %	441	زیاد
-	0	خیلی زیاد

در راستای ارزیابی تاثیر نشت فرآورده‌های سوختی براساس آسیب لرزه‌ای خط لوله انتقال سوخت شهر تهران، پس از اجرای مدل‌های پیش‌بینی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و استخراج تعداد شکست و نشت در لوله و تعیین لوله‌های آسیب دیده، میزان تخلیه از لوله‌های آسیب دیده به عنوان یک لایه اطلاعاتی تغذیه مواد آلاینده در روش DRASTIC در نظر گرفته شد و میزان تغییرات پتانسیل آلودگی آبخوان شهر تهران براساس سطح آسیب‌پذیری استخراج شد. براین اساس میزان نشت از لوله برای شرایط شکست کامل برابر با ۸۰٪ دبی جریان در لوله و برای شرایط نشت برابر با ۶۰٪ دبی جریان در لوله برآورد شد. در ادامه نتایج حاصل از تغییرات آلودگی آبخوان شهر تهران براساس سه سناریو لرزه‌ای ارائه شده‌است (جدول ۱۱).

براساس نتایج حاصل (جدول ۱۱) مشخص می‌گردد که تحت رخداد زمین لرزه‌ای با بزرگای ۵ ریشتر پهنه بندی آلودگی آبخوان دستخوش تغییر شده است و مساحت محدوده با سطح آلودگی متوسط براساس مدل پیش‌بینی ANN حدوداً ۱۰ درصد افزایش یافته‌است. با توجه به نتایج حاصل از مدل‌های پیش‌بینی که بیانگر تعداد شکست ۲ و تعداد نشت ۱۵ تحت سناریو اول لرزه‌ای در خط لوله بوده، میزان تغییرات ۱۰ درصد در سطح آسیب‌پذیری متوسط، قابل بررسی بود. اصلی‌ترین نتیجه حاصل از ارزیابی میزان آلودگی آبخوان شهر تهران براساس سناریو اول، آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط لوله انتقال سوخت و به دنبال آن آلودگی منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی

جدول ۱۰. ارزیابی عملکرد مدل DRASTIC

سطح آسیب‌پذیری			عملکرد مدل DRASTIC در پژوهش‌های مختلف
زیاد	متوسط	ناچیز و کم	
18.00%	22%	59.60%	مطالعات محمدی و همکاران، ۲۰۰۹
17%	18.00%	65.05%	مطالعات نوری و همکاران، ۲۰۱۹
18%	20%	62%	نتایج حاصل از پژوهش
مطالعات محمدی و همکاران، ۲۰۰۹			میانگین درصد خطای مدل پژوهش
مطالعات نوری و همکاران، ۲۰۱۹			4.8%
6.05%			

جدول ۱۱. پهنه‌بندی آلودگی آبخوان شهر تهران براساس آسیب لرزه‌ای خط لوله انتقال سوخت تحت سناریوهای مدل‌سازی

Scenario 1: Mw = 5		
سطح آسیب‌پذیری	مساحت (درصد)	میزان تغییرات نسبت به شرایط نرمال (درصد)
کم	52%	-10%
متوسط	30%	10%
زیاد	18%	-
خیلی زیاد	-	-
Scenario 2: Mw = 6		
سطح آسیب‌پذیری	مساحت (درصد)	میزان تغییرات نسبت به شرایط نرمال (درصد)
کم	19%	-43%
متوسط	52%	32%
زیاد	29%	11%
خیلی زیاد	-	-
Scenario 3: Mw = 7		
سطح آسیب‌پذیری	مساحت (درصد)	میزان تغییرات نسبت به شرایط نرمال (درصد)
کم	15%	-47%
متوسط	40%	20%
زیاد	45%	27%
خیلی زیاد	-	-

بهره‌گیری از تئوری حداقل-حداکثر تاسف برای کاهش آثار زیست محیطی آلودگی آبخوان شهر تهران تحت آسیب لرزه‌ای شبکه انتقال سوخت بوده‌است.

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش روش انجام تحقیق (تدوین استراتژی کاهش آلودگی اب‌زیرزمینی) مشخص می‌گردد که برای تدوین استراتژی استوار جهت کاهش آثار زیست محیطی آلودگی آبخوان شهر تهران تحت وقوع زمین لرزه ابتدا باید سناریوهای محتمل، عوامل موثر و استراتژی‌های مختلف برای دستیابی به هدف اصلی تعیین گردد. در فلوچارت شکل (۵) سناریوها، عوامل موثر و استراتژی‌های مدنظر جهت کاهش آلودگی آبخوان ارائه شده است.



شکل ۵. ارکان اصلی برنامه‌ریزی استراتژیک در راستای کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای آبخوان

با توجه به هدف اصلی پژوهش و طراحی برنامه ریزی استراتژیک، موارد مختلفی به عنوان استراتژی‌های مقابله با آثار مخرب آلودگی منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است در این راستا مطالعات جامعی بر پژوهش‌های صورت گرفته در قالب پروژه‌های آکادمیک و گزارش‌های فنی در راستای کاهش آسیب‌پذیری خط لوله بررسی شده‌است. به طور کلی با

می‌باشد که لزوم ارائه استراتژی‌های مدیریتی جهت مقابله و کاهش آثار مخرب وقوع زمین لرزه (حتی با بزرگای ۵ ریشتر که در دسته بندی زمین لرزه‌های بزرگ هم طبقه بندی نمی‌شود) بر منابع آب زیرزمینی شهر تهران را بسیار روشن می‌سازد.

براساس نتایج حاصل از اجرای سناریو دوم لرزه‌ای (زمین لرزه با بزرگای ۶ ریشتر) براساس مدل پیش‌بینی آسیب لرزه‌ای ANN مساحت محدوده با سطح آلودگی متوسط ۳۲٪ و سطح آلودگی زیاد ۱۱٪ افزایش یافته‌است. نتایج حاصل از ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی شهر تهران براساس وقوع زمین لرزه با بزرگای ۶ ریشتر (سناریو دوم لرزه‌ای) نشان دهنده افزایش پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان براساس آسیب در خط لوله سوخت بوده‌است. نتایج حاصل از اجرای مدل ارزیابی آلودگی آبخوان شهر تهران تحت سناریو سوم لرزه‌ای نشان می‌دهد که با رخداد زمین لرزه با بزرگای ۷ ریشتر منابع آب زیرزمینی شهر تهران به شدت دچار آلودگی وسیع در اثر نشت فرآورده‌های سوختی از خط لوله انتقال سوخت گردیده است به گونه‌ای که براساس مدل ANN درصد مساحت سطح آلودگی کم ۱۵٪، آلودگی متوسط ۴۰٪ و سطح آلودگی زیاد ۴۵٪ بوده‌است. براساس نتایج حاصل (جدول ۱۱) در صورت وقوع زمین لرزه با بزرگای ۷ ریشتر، میزان آلودگی آبخوان با سطح آلودگی متوسط ۲۰٪ و با سطح آلودگی زیاد ۲۷٪ بر اساس مدل پیش‌بینی ANN افزایش یافته‌است.

ارزیابی استراتژی‌های کاهش آلودگی آبخوان زیرزمینی

در این پژوهش هدف برنامه ریزی استراتژیک استوار با بهره‌گیری از برنامه ریزی سناریو و برپایه درجه استواری و

توجه به نتایج حاصل از محاسبات درجه استواری مشخص می‌گردد که استراتژی دوم یعنی پیاده سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای استراتژی استوار تحت شرایط رخداد سناریوهای مختلف لرزه‌ای بوده‌است.

به جهت ارزیابی استوارترین استراتژی بر مبنای تئوری حداقل حداکثر تاسف، براساس ارزیابی صورت گرفته درجه مطلوبیت هر استراتژی بر مبنای رخداد هر سناریو تحت ماتریس فضای تصمیم ایجاد شده‌است. در این راستا درجه مطلوبیت هر استراتژی بر مبنای عملکرد استراتژی در هر یک از سناریوهای برنامه‌ریزی تعیین شده‌است. براین اساس بیشترین میزان موفقیت استراتژی دارای درجه مطلوبیت ۷ و کمترین دارای درجه مطلوبیت ۱ امتیاز بندی شده‌است. در جدول (۱۴) ماتریس فضای تصمیم استراتژی‌های تدوین شده براساس سناریوهای برنامه ریزی ارائه شده‌است. در تئوری حداقل- حداکثر تاسف استراتژی که در سناریوهای مختلف و متعدد آینده عملکرد خوبی داشته باشد و کمترین میزان تاسف را ایجاد کند مبنای انتخاب استراتژی استوار بوده‌است. بنابراین میزان تاسف انتخاب هر استراتژی در برابر هر سناریو، با کم کردن درجه مطلوبیت هر استراتژی از درجه مطلوبیت بهترین استراتژی در هر سناریو، محاسبه شده‌است. در جدول (۱۵) میزان تاسف انتخاب هر استراتژی براساس کم کردن درجه مطلوبیت استراتژی از بیشترین درجه مطلوبیت در هر ردیف (براساس هر سناریو) محاسبه شده‌است. در نهایت در ردیف آخر مقدار حداکثر تاسف هر استراتژی، مستقل از رخداد هر سناریو ارائه شده‌است. در واقع در این ردیف (حداکثر تاسف) حداکثر فرصتهای از دست رفته برای هر استراتژی به طور مستقل ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از به‌کارگیری تئوری حداقل-حداکثر تاسف (جدول ۱۵) مشخص می‌گردد که استراتژی دوم (پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای) دارای کمترین میزان تاسف تحت شرایط رخداد سناریوهای مختلف بوده‌است. بنابراین براساس ارزیابی صورت گرفته استراتژی دوم به عنوان استراتژی استوار در راستای کاهش آثار زیست محیطی ناشی از نشت فرآورده‌های سوختی بر منابع آب زیرزمینی شهر تهران بوده‌است.

توجه به ماهیت و موضوعیت پژوهش، استراتژی‌های تدوین شده در راستای کاهش آسیب‌پذیری خط لوله انتقال سوخت بوده که در نهایت موجب کاهش آلودگی آبخوان می‌گردد. به بیان دیگر استراتژی‌های مطرح شده به ایجاد سازگاری برای کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط لوله معطوف بوده تا با کاهش تعداد نشت و شکست در خط لوله تحت شرایط رخداد زمین لرزه از میزان آلودگی آبخوان بر اثر انتقال فرآورده‌های سوختی بکاهد. در این مرحله از مدل پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی ANN برای پیش‌بینی تعداد شکست و نشت بیشتر تحت سناریوهای لرزه‌ای استفاده شده‌است. نتایج حاصل از اجرای مدل ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان تحت سه سناریو لرزه‌ای و براساس به‌کارگیری سه استراتژی تدوین شده در جدول (۱۲) ارائه شده‌است.

در جدول (۱۲) نتایج حاصل از پیاده‌سازی سه استراتژی ارائه شده در راستای کاهش میزان آلودگی آبخوان شهر تهران براساس سه سناریو لرزه‌ای ارائه شده‌است. با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول (۱۲) که بیانگر عملکرد هر یک از استراتژی‌های تدوین شده براساس سناریوهای لرزه‌ای بوده در ادامه عملکرد هر سناریو براساس ترکیب رابطه (۵) و (۶) جهت محاسبه درجه استواری مورد بررسی قرار گرفته‌است. به جهت در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت و اعمال احتمال رخداد هر یک از سه سناریو ترکیبات مختلف احتمال رخداد سه سناریو برای محاسبه شاخص استواری مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. نتایج حاصل از محاسبه درجه استواری در جدول (۱۳) ارائه شده‌است. با توجه به نتایج حاصل از محاسبه درجه استواری سه استراتژی ارائه شده بر اساس احتمال تصادفی رخداد هر سناریو (جدول ۱۳) مشخص می‌گردد که استراتژی دوم (پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای) دارای بیشترین مقادیر درجه استواری بوده است، به گونه‌ای که میانگین مقادیر درجه استواری محاسبه شده ۲۱/۰۷ می‌باشد، براساس نتایج حاصل استراتژی سوم (عایق بندی محیط پیرامون خط لوله) با میانگین درجه استواری ۱۱/۰۵ در جایگاه دوم بعد از استراتژی پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای قرار گرفته‌است. همچنین استراتژی اول (مقاوم سازی لرزه‌ای خط لوله) دارای کمترین مقادیر درجه استواری محاسبه شده می‌باشد. براین اساس با

جدول ۱۲. ارزیابی تاثیر استراتژی‌های کاهش آلودگی آبخوان براساس سناریوهای لرزه‌ای

سناریو	درصد کاهش آلودگی آبخوان براساس شاخص (DI) DRASTIC		
	استراتژی ۱	استراتژی ۲	استراتژی ۳
سناریو اول Mw = 5	20.25%	15.89%	16.12%
سناریو دوم Mw = 6	61.15%	60.12%	63.54%
سناریو سوم Mw = 7	73.58%	70.11%	75.28%

جدول ۱۳. نتایج حاصل از محاسبه درجه استواری هر استراتژی براساس احتمال تصادفی رخداد سناریو

درجه استواری			استراتژی
Mean	Min	Max	
۴/۷۴	۲/۸۶	۸/۵۹	استراتژی ۱: مقاوم سازی لرزه‌ای خط لوله
۲۱/۰۷	۱۶/۹۸	۲۸/۷۴	استراتژی ۲: پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه ای
۱۱/۰۵	۹/۱۲	۱۵/۵۹	استراتژی ۳: عایق بندی محیط پیرامون خط لوله

جدول ۱۴. ماتریس فضای تصمیم بر اساس مطلوبیت هر استراتژی نسبت به سناریوهای برنامه ریزی

سناریو	استراتژی ۱	استراتژی ۲	استراتژی ۳
سناریو اول Mw = 5	۲	۶	۳
سناریو دوم Mw = 6	۱	۵	۶
سناریو سوم Mw = 7	۱	۷	۵

جدول ۱۵. ماتریس تاسف انتخاب هر استراتژی بر اساس سناریوهای مختلف

سناریو	استراتژی ۱	استراتژی ۲	استراتژی ۳
سناریو اول Mw = 5	۴	۰	۳
سناریو دوم Mw = 6	۰	۱	۰
سناریو سوم Mw = 7	۶	۰	۲
حداکثر تاسف	۶	۱	۳

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با هدف تدوین استراتژی کاهش آثار زیست محیطی ناشی از نشت فرآورده‌های سوختی بر منابع آب‌زیرزمینی تحت شرایط وقوع زمین‌لرزه مطالعات جامعی تعریف و در قالب مطالعات موردی بر شبکه انتقال سوخت و آبخوان شهر تهران پیاده‌سازی شد. در این راستا ابتدا یک مدل جامع نوین برای آنالیز آسیب‌پذیری لرزه‌ای خط‌لوله انتقال سوخت با بهره‌گیری از روش شبکه عصبی مصنوعی ANN توسعه داده شده و عملکرد مدل مورد اعتبارسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفته‌است. همچنین ارزیابی آلودگی آبخوان بر اساس نشت فرآورده‌های سوختی از خط‌لوله آسیب‌دیده با بهره‌گیری از روش DRASTIC پیاده‌سازی شده‌است. علاوه‌براین به‌جهت ارائه استراتژی‌هایی در راستای کاهش آثار زیست محیطی بر آبخوان شهر تهران، برنامه‌ریزی استراتژیک مورد بررسی قرار گرفته و با بهره‌گیری از دو رویکرد درجه استواری و تئوری حداقل-حداکثر تاسف، استوارترین استراتژی استخراج شده‌است.

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد و حساسیت سنجی مدل ANN نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با ۱۲ لایه پنهان دارای عملکرد بهتری در پیش‌بینی تنش حاصل در لوله مدفون بوده، به گونه‌ای که میزان خطای MSE بر کل داده‌ها معادل با ۰/۵۸۴ و مقادیر آزمون همبستگی R معادل با ۰/۹۹۷۵ بوده‌است. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل ANN پیش‌بینی احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای نشان داد که شبکه

عصبی مصنوعی با ۹ لایه پنهان دارای عملکرد بهتری در پیش‌بینی احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای در لوله مدفون بوده، به گونه‌ای که میزان خطای MSE بر کل داده‌ها معادل با ۰/۱۸۳ و مقادیر آزمون همبستگی R معادل با ۰/۹۷ بوده‌است. نتایج حاصل از اجرای مدل ANN نشان داد که تعداد شکست و نشت در خط لوله براساس افزایش شدت زمین لرزه افزایش یافته، به گونه‌ای که تعداد شکست بر اساس مدل ANN در زمین لرزه با بزرگای ۵ ریشتر معادل با ۲ و در زمین لرزه ۷ ریشتری معادل با ۹ بوده‌است. همچنین تعداد نشت بر اساس مدل ANN در سناریو اول معادل با ۱۵ بوده که با افزایش بزرگای زمین لرزه (سناریو سوم Mw = 7) به ۲۷ افزایش یافته‌است.

در این پژوهش به هدف ارائه استراتژی کارآمد برای کاهش آثار زیست محیطی ناشی از نشت فرآورده‌های سوختی بر روی آب‌های زیرزمینی پس از وقوع زلزله، ارزیابی بر برنامه‌ریزی استراتژیک استوار با استفاده از برنامه‌ریزی سناریو و بهره‌گیری از دو رویکرد درجه استواری و تئوری حداقل-حداکثر تاسف پیاده‌سازی شده‌است. با توجه به نتایج حاصل از محاسبه درجه استواری سه استراتژی ارائه شده بر اساس احتمال تصادفی رخداد هر سناریو، مشخص می‌گردد که استراتژی دوم (پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای) دارای بیشترین مقادیر درجه استواری بوده‌است، به گونه‌ای که میانگین مقادیر درجه استواری محاسبه شده ۲۱/۰۷ می‌باشد، براساس نتایج حاصل استراتژی سوم (عایق بندی محیط پیرامون خط لوله) با میانگین

آلودگی آب‌های زیرزمینی را دارا بوده است و به عنوان یک مدل مرجع می‌تواند به صورت گسترده مورد استفاده فعالان و طراحان قرار گیرد. براساس نتایج حاصل از پژوهش به عنوان اصلی‌ترین دستاورد تحقیق می‌توان تجهیز شبکه‌های توزیع و انتقال سوخت شهری به سیستم هوشمند لرزه‌ای جهت قطع جریان سیال در زمان وقوع زمین‌لرزه اشاره نمود که می‌تواند به عنوان یک استراتژی هدفمند و کاربردی در راستای کاهش مخاطرات حاصل از نشت-شکست خطلوله مدفون و به دنبال آن کاهش آلودگی منابع ارزشمند آب زیرزمینی تدوین و مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران به جهت تامین داده‌های پژوهش قدردانی می‌نمایند.

درجه استواری ۱۱/۰۵ در جایگاه دوم بعد از استراتژی پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای قرار گرفته‌است. همچنین استراتژی اول (مقاوم سازی لرزه‌ای خط لوله) دارای کمترین مقادیر درجه استواری محاسبه شده می‌باشد.

براساس نتایج حاصل از به‌کارگیری تئوری حداقل-حداکثر تاسف مشخص گردید که استراتژی دوم (پیاده‌سازی سیستم هوشمند لرزه‌ای) دارای کمترین میزان تاسف تحت شرایط رخداد سناریوهای مختلف بوده‌است. بنابراین براساس ارزیابی صورت گرفته استراتژی دوم به عنوان استراتژی استوار در راستای کاهش آثار زیست محیطی ناشی از نشت فرآورده‌های سوختی بر منابع آب زیرزمینی شهر تهران بوده‌است.

مدل ایجاد شده در این پژوهش قابلیت پیاده سازی در مناطق مختلف شهری و همچنین ارزیابی عملکرد سیستم انتقال سوخت تحت سناریوهای مختلف زمین لرزه و ارزیابی

Reference:

- Barbulescu, A. (2020). Assessing groundwater vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-like methods: a review. *Water*, 12(5), 1356.
- Bera, A., Mukhopadhyay, B. P., Chowdhury, P., Ghosh, A., & Biswas, S. (2021). Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC model in Nangasai River Basin, India with special emphasis on agricultural contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214, 112085.
- Borsutzky, R. (2006). *Seismic risk analysis of buried lifelines: simulation of seismic ground motion. Technical report, International Graduate College, Risk management of natural and civilization hazards on buildings and infrastructure*. Periodical report.
- Cekirge, H. M. (2015). Quantitative risk assessment for crude oil pipelines. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(3), 147-153.
- Claesson, L., Skelton, A., Graham, C., Dietl, C., Moörth, M., Torssander, P., & Kockum, I. (2004). Hydrogeochemical changes before and after a major earthquake. *Geology*, 32(8), 641-644.
- Dziubiński, M., Frątczak, M., & Markowski, A. S. (2006). Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 19(5), 399-408.
- Esposito, S., Iervolino, I., Silvestri, F., d'Onofrio, A., Santo, A., Cavalieri, F., & Franchin, P. (2012). Seismic Risk Analysis of Lifelines: Preliminary Results for the Case-Study of L'Aquila ENEL Rete Gas. *In 15th world conference of earthquake engineering, Lisbon (Portugal) (pp. 2998-1)*.
- Germoso, C., Gonzalez, O., & Chinesta, F. (2021). Seismic vulnerability assessment of buried pipelines: A 3D parametric study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 143, 106627.
- Golbarg, F., Nabi Bidhendi, G., & Hoveidi, H. (2018). Environmental management of oil pipelines risks in the wetland areas by Delphi and MCDM techniques: case of Shadegan international wetland, Iran. *Pollution*, 4(2), 195-210.
- Huyck, C. K., Eguchi, R. T., Watkins, R. M., Seligson, H. A., Bucknam, S., & Bortugno, E. (2003). URAMP (Utilities Regional Assessment of Mitigation Priorities)—A Benefit-Cost Analysis Tool for Water, Wastewater and Drainage Utilities: Software Development. *In Advancing Mitigation Technologies and Disaster Response for Lifeline Systems (pp. 484-493)*.
- Jafari, F., Javadi, S., Golmohammadi, G., Mohammadi, K., Khodadadi, A., & Mohammadzadeh, M. (2016). Groundwater risk mapping prediction using mathematical modeling and the Monte Carlo technique. *Environmental Earth Sciences*, 75(6), 491.
- Jang, W. S., Engel, B., Harbor, J., & Theller, L. (2017). Aquifer vulnerability assessment for sustainable groundwater management using DRASTIC. *Water*, 9(10), 792.
- Jin-qi, D. O. N. G., Shan-suo, Z. H. E. N. G., Xiao-kui, X. I. E., Feng, Y. A. N. G., Shun-li, C. H. E., & Xiao-hang, L. I. U. (2023). Seismic Vulnerability Analysis Of Pipeline Considering The Influence Of Near-Fault Pulse-Type Ground Motion. *工程力学*, 40(5), 104-116.
- Karamy Moghadam, A., & Mahdavi Adeli, M. (2020). Application of Artificial Neural Networks for Seismic Analysis and Design of Buried Pipelines in Heterogeneous Soils. *Journal of Hydraulic Structures*, 6(4), 60-74.
- KS, A., & Prasad, S. Application of MATLAB on the basis of Artificial Neural Network for Prediction Modelling of Pipeline Damage.

- Lanzano, G., Salzano, E. R. N. E. S. T. O., De Magistris, F. S., & Fabbrocino, G. (2014). Seismic vulnerability of gas and liquid buried pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 28, 72-78.
- Lee, A. C. (2010). *Analysis of Solid State, Solid Oxide Electrolyte Based Direct Carbon Fuel Cells*. Stanford University.
- Li, F., Wang, W., Xu, J., Yi, J., & Wang, Q. (2019). Comparative study on vulnerability assessment for urban buried gas pipeline network based on SVM and ANN methods. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 23-32.
- Liu, C. P., Wang, C. H., & Hwang, L. S. (2010). Temporal variation of seepage water chemistry before and after the Hengchun Ms 7.2 earthquake in south Taiwan. *Geoderma*, 155(1-2), 107-114.
- Makhoul, N., Navarro, C., Lee, J. S., & Gueguen, P. (2020). A comparative study of buried pipeline fragilities using the seismic damage to the Byblos wastewater network. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101775.
- Makrakis, N., Psarropoulos, P. N., & Tsompanakis, Y. (2022). ANN-Based Assessment of Soft Surface Soil Layers' Impact on Fault Rupture Propagation and Kinematic Distress of Gas Pipelines. *Infrastructures*, 8(1), 6.
- Malakootian, M., & Nouri, J. (2010). Chemical variations of ground water affected by the earthquake in bam region Malakootian, M. *International Journal of Environmental Research*, 4(3), 443-454.
- Martini, A., Rivola, A., & Troncosi, M. (2018). Autocorrelation analysis of vibro-acoustic signals measured in a test field for water leak detection. *Applied Sciences*, 8(12), 2450.
- Miao, T. S., Lu, W. X., Luo, J. N., & Guo, J. Y. (2019). Application of set pair analysis and uncertainty analysis in groundwater pollution assessment and prediction: a case study of a typical molybdenum mining area in central Jilin province, China. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 1-15.
- Mohammadi, K., Niknam, R., & Majd, V. J. (2009). Aquifer vulnerability assessment using GIS and fuzzy system: a case study in Tehran-Karaj aquifer, Iran. *Environmental geology*, 58, 437-446.
- Mohanty, S., Jha, M. K., Kumar, A., & Sudheer, K. P. (2010). Artificial neural network modeling for groundwater level forecasting in a river island of eastern India. *Water resources management*, 24, 1845-1865.
- Moser, A. P., & Folkman, S. (2008). Buried pipe design. *McGraw-Hill Education*.
- Noori, R., Ghahremanzadeh, H., Kløve, B., Adamowski, J. F., & Baghvand, A. (2019). Modified-DRASTIC, modified-SINTACS and SI methods for groundwater vulnerability assessment in the southern Tehran aquifer. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 54(1), 89-100.
- Qureshi, A., & Sayed, A. H. (2014). Situation analysis of the water resources of Lahore establishing a case for water stewardship. *WWF-Pakistan and Cleaner Production Institute (CPI), Lahore, Pakistan*, 1-45.
- Raúl, F. B., Eduardo, B. J., & Cesar, R. M. (2019, March). *Seismic Behavior of Buried Pipelines in Mexico City Valley*. In *Geo-Congress 2019: Earthquake Engineering and Soil Dynamics* (pp. 49-56). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Rojstaczer, S., Wolf, S., & Michel, R. (1995). Permeability enhancement in the shallow crust as a cause of earthquake-induced hydrological changes. *Nature*, 373(6511), 237-239.
- Safavi, H. R., & Enteshari, S. (2016). Conjunctive use of surface and ground water resources using the ant system optimization. *Agricultural Water Management*, 173, 23-34.
- Sakai, H., Pulido, N., Hasegawa, K., & Kuwata, Y. (2017). A new approach for estimating seismic damage of buried water supply pipelines. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(9), 1531-1548.
- Selçuk, A. S., & Yüccemen, M. S. (2000). Reliability of lifeline networks with multiple sources under seismic hazard. *Natural Hazards*, 21(1), 1-18.
- Tanircan, G., Tsereteli, N., Garaveliev, E., Siyahi, B., Varazanashvili, O., Mammadli, T., ... & Safak, E. (2011). Seismic Hazard Assessment for Southern Caucasus-Eastern Turkey Energy Corridor. In *Proceed. of the EGU Conf.*
- Toprak, S., & Taskin, F. (2007). Estimation of earthquake damage to buried pipelines caused by ground shaking. *Natural hazards*, 40(1), 1-24.
- Trichakis, I. C., Nikolos, I. K., & Karatzas, G. P. (2011). Artificial neural network (ANN) based modeling for karstic groundwater level simulation. *Water Resources Management*, 25, 1143-1152.
- Watkins, R. K., & Anderson, L. R. (2000). *Structural mechanics of buried pipes*. CRC press.
- Ychen, Y. H., Li, J. N., Kai, L., Zhu, Q. J., & Liu, Y. L. (2017). Failure Prediction of Underground Pipeline Based on Artificial Neural Network. *Destech Trans. Comput. Sci. Eng.*
- Yoon, S., Lee, D. H., & Jung, H. J. (2019). Seismic fragility analysis of a buried pipeline structure considering uncertainty of soil parameters. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 175, 103932.
- Yu, H., Wu, Q., Zeng, Y., Zheng, L., Xu, L., Liu, S., & Wang, D. (2022). Integrated variable weight model and improved DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment in a shallow porous aquifer. *Journal of Hydrology*, 608, 127538.
- Zhang, P., Wang, Y., & Qin, G. (2019). A novel method to assess safety of buried pressure pipelines under non-random process seismic excitation based on cloud model. *Applied Sciences*, 9(4), 812.

- ¹ Moser
- ² Watkins
- ³ Huyck
- ⁴ Dziubiński
- ⁵ Selçuk
- ⁶ Yucemen
- ⁷ Toprak
- ⁸ Taksin
- ⁹ Tarincan
- ¹⁰ Esposito
- ¹¹ Cekirge
- ¹² Golbarg
- ¹³ Martini
- ¹⁴ Zhang
- ¹⁵ Wang
- ¹⁶ Moghadam
- ¹⁷ Mahdavi
- ¹⁸ Geroso
- ¹⁹ Makrakis
- ²⁰ Jin-qi
- ²¹ Rojstaczer
- ²² Claesson
- ²³ Liu
- ²⁴ Malakootian
- ²⁵ Nouri
- ²⁶ Qureshi
- ²⁷ Jafari
- ²⁸ Jang
- ²⁹ Miao
- ³⁰ kriging
- ³¹ Barbulescu
- ³² Bera
- ³³ Yu